

**PENERAPAN *SPACE-TIME BLOCK CODE* (STBC) PADA SISTEM
KOMUNIKASI *WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE
ACCESS* (WiMAX) 802.16d DENGAN METODE ALAMOUTI**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

MUHAMAD ARIF BUDIMAN

NIM. 0510630070-63

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2009

**PENERAPAN *SPACE-TIME BLOCK CODE* (STBC) PADA SISTEM
KOMUNIKASI *WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE
ACCESS* (WiMAX) 802.16d DENGAN METODE ALAMOUTI**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

MUHAMAD ARIF BUDIMAN
NIM. 0510630070-63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Rusmi Ambarwati, ST., MT.
NIP. 19720204 200003 2 002

Rudy Yuwono, ST., MSc.
NIP. 1971061 199802 1 003

LEMBAR PENGESAHAN

**PENERAPAN *SPACE-TIME BLOCK CODE* (STBC) PADA SISTEM
KOMUNIKASI *WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE
ACCESS* (WiMAX) 802.16d DENGAN METODE ALAMOUTI**

S K R I P S I

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

MUHAMAD ARIF BUDIMAN

NIM. 0510630070-63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 12 Oktober 2009

Dosen Penguji :

SKRIPSI 1

SKRIPSI 2

Ir. Endah Budi P., MT
NIP. 19621116 198903 2 002

Dr. Ir. Sholeh Hadi, MS.
NIP. 19580728 198701 1 001

SKRIPSI 3

M. Fauzan E.P., ST., MT.
NIP. 19710609 200002 1 001

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**

Rudy Yuwono, ST., MSc.
NIP. 1971061 199802 1 003



*Saya persembahkan untuk
Penghuni kerajaan hati saya,
- Almarhumah Bunda,
- Ayah,
- Kakak,
- GrandMa,
- The Princess of my Heart.*

PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji hanya bagi Allâh Subhanahu Wa Taâla, Rabb alam semesta. Dialah Allâh, Tuhan Yang Maha Satu, Yang Mahajaya Digjaya, Yang Maharaja Diraja, Yang Maha Cahaya, Yang Maha Penerima Taubat, Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Dialah Sebaik baik Penolong dan Sebaik baik Pelindung. Shalawat dan salâm kepada Nabi Muhammad Rasulullâh Shallallâhu Alaihi Wa Salâm, pemilik syafaât di Hari Akhir, sang pembawa kabar gembira dan sebaik baik suri tauladan bagi yang mengharap Rahmat dan Hidayah-Nya.

Sungguh hanya melalui Pertolongan dan Perlindungan Allâh SWT semata sehingga kami dapat menyelesaikan skripsi ini. Dengan seizin Allâh SWT, di kesempatan yang baik ini kami ingin menghaturkan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar besarnya atas bantuan sehingga terselesainya skripsi ini kepada:

1. Keluarga tercinta,
Ayah, Munawar dan almarhumah Ibu, Fasikhah tercinta yang selalu memberikan kasih sayang dan doanya.
Kakak, Ahmad Kurniawan, yang senantiasa memberikan semangat serta motivasi kepada adiknya.
2. Bapak Rudy Yuwono, ST., M.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan Bapak Muhammad Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Ibu Rusmi Ambarwati, ST., MT. dan Bapak Rudy Yuwono, ST., MSc. selaku dosen pembimbing skripsi.
4. Keluarga besar Angkatan 2005 “*StreamLine*” khususnya sahabat-sahabatku, terima kasih atas semuanya.
5. Keluarga besar Kerto Asri 110 Malang khususnya Bapak dan Ibu Joko, yang selalu membimbing dan menasehati kami.
6. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Elektro, khususnya keluarga Workshop HME yang memberikan pengalaman, pelajaran hidup serta berbagai saran dan motivasi bagi kami.
7. Sahabat-sahabat seperjuangan di Tim Robot Universitas Brawijaya, baik Tim KRI dan KRCI, terima kasih atas pelajaran dan pengalaman hidup serta bantuan motivasinya.

8. Keluarga besar Laboratorium Telekomunikasi TEUB, terima kasih telah memberikan kesempatan, pelajaran dan pengalaman hidup bagi kami, serta berbagai saran dan motivasinya.
9. Sahabat-sahabat setia yang selalu memberikan nasehat dan motivasi di kala senang maupun sedih.
10. Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Sekiranya Allâh SWT mencatat amalan ikhlas kami dan semua pihak yang turut membantu sehingga skripsi ini terselesaikan. Akhirnya, kami menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna meskipun telah berusaha semaksimal mungkin namun semoga dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Allâhumma Amîn.

Malang, 24 September 2009

Penulis



DAFTAR ISI

PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
RINGKASAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Broadband Wireless Access (BWA)</i>	5
2.1.1 Generasi Teknologi <i>Broadband Wireless Access (BWA)</i>	6
2.2 <i>Worldwide Interoperability of Microwave Access (WiMAX)</i>	10
2.2.2 Standar WiMAX	10
2.2.3 Arsitektur WiMAX	13
2.2.4 Protokol <i>Layer</i> WiMAX.....	15
2.2.5 WiMAX Standar IEEE 802.16d	19
2.3 Teknik Diversitas.....	39
2.3.1 <i>Space-Time Block Code (STBC)</i>	40
2.4 Kanal <i>Wireless</i>	45
2.4.1 <i>Pathloss</i>	45
2.4.2 <i>Shadowing</i>	46
2.4.3 Kanal <i>Fading</i>	46
2.4.4 Model Kanal	51
2.5 Performansi Sistem.....	56
2.5.2 <i>Signal to Noise Ratio (SNR)</i>	56
2.5.3 <i>Bit Error Rate</i>	56





BAB III METODOLOGI	54
3.1 Studi Literatur.....	55
3.2 Pemodelan Sistem.....	55
3.3 Simulasi Sistem.....	57
3.4 Analisis Data.....	60
3.5 Pengambilan Kesimpulan.....	62
BAB IV PEMODELAN	63
4.1 Pemodelan Lapisan Fisik WiMAX 802.16d.....	63
4.1.1 Pemodelan <i>Transmitter</i>	68
4.1.2 Pemodelan <i>Receiver</i>	75
4.1.3 Pemodelan Space-Time Block Code.....	79
4.2 Pemodelan Kanal Propagasi.....	83
4.2.1 Pemodelan Kanal AWGN.....	84
4.2.2 Pemodelan Kanal Rician <i>Fading</i>	84
4.2.3 Pemodelan Kanal Rayleigh <i>Fading</i>	86
4.2.4 Pemodelan kanal MISO.....	87
4.3 Pemodelan Pengukuran Performansi.....	88
4.4 Model Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d.....	89
4.4.1 Model Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d Tanpa STBC.....	89
4.4.2 Model Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d dengan STBC.....	90
BAB V PEMBAHASAN	92
5.1 Mekanisme Proses.....	92
5.2 Parameter Simulasi.....	93
5.2.1 Parameter Model Lapisan Fisik.....	93
5.2.2 Parameter Model Kanal Propagasi.....	97
5.3 Analisis Performansi Sistem.....	100
5.3.1 Analisis Performansi Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d Tanpa Alamouti – STBC.....	101
5.3.2 Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d-STBC.....	106
5.3.3 Perbandingan Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d.....	110
BAB VI PENUTUP	111
6.1 KESIMPULAN.....	111
6.2 SARAN.....	111

DAFTAR PUSTAKA 112
LAMPIRAN 114



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Spesifikasi Standar WiMAX.....	11
Tabel 2.2	Standar <i>Interface</i> WiMAX.....	17
Tabel 2.3	Konfigurasi Pengkodean Konvolusi dengan <i>Puncturing</i>	22
Tabel 2.4	Pengkodean Kanal Tiap Modulasi.....	22
Tabel 2.5	Ukuran Blok <i>Interleaver</i>	24
Tabel 2.6	Parameter simbol OFDM.....	33
Tabel 5.1	Spesifikasi Parameter pada Lapisan Fisik <i>WirelessMAN-OFDM</i> WiMAX 802.16d.....	94
Tabel 5.2	Pengaturan Kanal Rician <i>Fading</i>	97
Tabel 5.3	Pengaturan Kanal Rayleigh <i>Fading</i>	99
Tabel 5.4	Data Performansi WiMAX 802.16d Pada Kanal Rician <i>Fading</i>	101
Tabel 5.5	Kebutuhan Level SNR Untuk Mendapatkan BER 10^{-3} Pada Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d.....	103
Tabel 5.6	Data Performansi WiMAX 802.16d Pada Kanal Rayleigh <i>Fading</i>	104
Tabel 5.7	Kebutuhan Level SNR Untuk Mendapatkan BER 10^{-3} Pada Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d.....	106
Tabel 5.8	Data Performansi WiMAX 802.16d-STBC Pada Kanal Rician <i>Fading</i>	106
Tabel 5.9	Kebutuhan Level SNR Untuk Mendapatkan BER 10^{-3} Pada Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d-STBC.....	108
Tabel 5.10	Data Performansi WiMAX 802.16d-STBC Pada Kanal Rayleigh <i>Fading</i>	108
Tabel 5.11	Kebutuhan Level SNR Untuk Mendapatkan BER 10^{-3} Pada Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d-STBC.....	110
Tabel 5.12	Perbandingan Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d.....	111



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Perkembangan Teknologi Telekomunikasi	7
Gambar 2.2	Evolusi Teknologi Telekomunikasi	8
Gambar 2.3	Standar Teknologi Berdasarkan <i>Network Area</i>	10
Gambar 2.4	Arsitektur Umum WiMAX.....	13
Gambar 2.5	Tujuh <i>Layer</i> pada OSI Model Jaringan komunikasi	15
Gambar 2.6	Protokol <i>Layer</i> IEEE 802.16 (WiMAX)	16
Gambar 2.7	WiMAX MAC <i>Layer</i>	18
Gambar 2.8	(a) Topologi <i>Point-to-Multipoint</i> , (b) Topologi <i>Mesh</i>	19
Gambar 2.9	Logika Diagram <i>Randomizer</i>	20
Gambar 2.10	Proses FEC WiMAX 802.16d.....	20
Gambar 2.11	Pengkodean konvolusi dengan <i>rate</i> 1/2.....	21
Gambar 2.12	<i>Modulator</i> Digital.....	24
Gambar 2.13	Dasar Teknik Modulasi Digital.....	25
Gambar 2.14	(a) Hubungan bit dan fasa pada modulasi BPSK, (b) <i>Constellation</i> Modulasi BPSK.....	26
Gambar 2.15	Sinyal Termodulasi QPSK.....	27
Gambar 2.16	QPSK <i>Constellation</i>	27
Gambar 2.17	(a) 16-QAM <i>Constellation</i> , (b) 64-QAM <i>Constellation</i>	28
Gambar 2.18	Prinsip modulasi <i>multicarrier</i> ($N_c = 4$ <i>Subcarrier</i>)	29
Gambar 2.19	Perbandingan Antara MCM dan SCM	29
Sumber :	Shinsuke Hara & Ramjee Prasad, 2003:28.....	29
Gambar 2.20	Perbandingan FDM dengan OFDM	30
Gambar 2.21	Penambahan <i>Cyclic prefix</i> pada Sinyal OFDM	31
Gambar 2.22	Simbol OFDM.....	31
Gambar 2.23	Skema Penggunaan Teknik AMC	36
Gambar 2.24	WiMAX sebagai <i>Backhaul</i> WiMAX	37
Gambar 2.25	WiMAX sebagai <i>Backhaul</i> Hotspot.....	37
Gambar 2.26	WiMAX sebagai <i>Backhaul</i> Seluler	38
Gambar 2.27	WiMAX Sebagai Aplikasi Akses <i>Broadband</i>	38
Gambar 2.28	WiMAX Untuk Aplikasi Personal <i>Broadband</i>	39



Gambar 2.28 Skema Transmisi dua antena <i>transmitter</i> dan satu antena <i>receiver</i>	41
Gambar 2.29 Shadowing	46
Gambar 2.30 Model Kanal <i>Multipath Fading</i>	47
Gambar 2.31 Efek Doppler	49
Gambar 2.32 <i>Fading</i> Pada Domain Frekuensi Dan Waktu	50
Gambar 2.33 Model kanal AWGN	52
Gambar 2.34 Karakteristik Kanal Rician	53
Gambar 2.35 P.d.f dari Distribusi Rician dengan Variasi Faktor K	54
Gambar 2.35 P.d.f dari Distribusi Rayleigh	55
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi	54
Gambar 3.2 Diagram Alir Pemodelan	57
Gambar 3.3 (a) Diagram Alir Simulasi WiMAX 802.16d Tanpa STBC, (b) Diagram Alir Simulasi WiMAX 802.16d dengan STBC	59
Gambar 3.4 Diagram Alir Analisis Performansi WiMAX 802.16d tanpa STBC maupun dengan STBC	61
Gambar 4.1 Blok Diagram Lapisan Fisik Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d	64
Gambar 4.2 Blok Diagram Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d dengan Alamouti-STBC	65
Gambar 4.3 Pembuatan Blok Pengaturan	66
Gambar 4.4 (a) Penyisipan Parameter Eksekusi, (b) Inisialisasi	67
Gambar 4.5 Pengaturan Parameter Pada Blok Model Pengaturan	68
Gambar 4.6 Blok Model Pembangkit Sumber Data Acak	69
Gambar 4.7 Pengaturan Parameter Sumber Data	69
Gambar 4.8 (a) Blok Model Reed-Solomon <i>Encoder</i> , (b) Blok Model Pengkodean Konvolusi	70
Gambar 4.9 Pengaturan Parameter Blok Model Reed-Solomon <i>Encoder</i>	70
Gambar 4.10 Pengaturan Blok Model Pengkodean Konvolusi dengan CC-Rate 5/6	71
Gambar 4.11 Blok Model <i>Interleaver</i>	71
Gambar 4.13 Model Blok Sistem 16-QAM dengan Kecepatan Pengkodean $\frac{1}{2}$	73
Gambar 4.14 Model Blok Sistem <i>Pilot Insertion</i> dan Penambahan DC <i>Carrier</i>	73
Gambar 4.15 Model Blok Sistem <i>Transmitter</i> OFDM	74
Gambar 4.16 Model Blok Sistem OFDM <i>Receiver</i>	75
Gambar 4.17 Model Blok Sistem Pembuangan DC <i>Carrier</i> dan Kompensasi Penguatan	75

Gambar 4.14 Model Blok Sistem Kompensator Penguatan.....	76
Gambar 4.15 Pengaturan Pembuangan DC <i>Carrier</i>	76
Gambar 4.20 Model Blok Sistem Pemisahan Sinyal Pilot Dan Data	77
Gambar 4.21 Pengaturan Pemisahan Sinyal Data dan Pilot.....	77
Gambar 4.22 Model Blok <i>Demodulator</i>	78
Gambar 4.23 Model Blok <i>DeInterleaver</i>	78
Gambar 4.24 Model Blok Viterbi <i>Decoder</i> dan RS <i>Decoder</i>	78
Gambar 4.25 Model Blok Sistem <i>Demodulator</i> QPSK dengan Kecepatan Pengkodean 3/4	79
Gambar 4.26 Diagram Alir Pemodelan STBC	80
Gambar 4.27 Model Blok STBC <i>Encoder</i>	81
Gambar 4.28 Model Blok STBC <i>Combiner</i>	81
Gambar 4.29 Model Blok Sistem Estimasi Kanal Dan Pembuangan DC <i>Carrier</i>	82
Gambar 4.30 Diagram Alir Estimasi Sinyal Asli.....	83
Gambar 4.31 Blok Model Kanal AWGN.....	84
Gambar 4.32 Parameter Pengaturan Blok Kanal AWGN.....	84
Gambar 4.33 Model Kanal Rician <i>Fading</i>	85
Gambar 4.34 Parameter Pengaturan Blok Kanal Rician <i>Fading</i>	86
Gambar 4.35 Model Kanal Rayleigh <i>Fading</i>	86
Gambar 4.36 Parameter Pengaturan Blok Kanal Rayleigh <i>Fading</i>	87
Gambar 4.37 (a) Model Kanal MISO (2x1) Rician <i>Fading</i> , (b) Model Kanal MISO (2x1) Rayleigh <i>Fading</i>	88
Gambar 4.38 Model Blok BER.....	88
Gambar 4.39 (a) Model Blok Simulator Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d Pada Kanal Rician <i>Fading</i> , (b) Model Blok Simulator Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d Pada Kanal Rayleigh <i>Fading</i>	90
Gambar 4.40 (a) Model Blok Simulator Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d dengan STBC Pada Kanal Rician <i>Fading</i> , (b) Model Blok Simulator Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d dengan STBC Pada Kanal Rayleigh <i>Fading</i>	91
Gambar 5.1 Performansi Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d Tanpa STBC Pada Kanal Rician <i>Fading</i>	103
Gambar 5.2 Performansi Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d Tanpa STBC Pada Kanal Rayleigh <i>Fading</i>	105

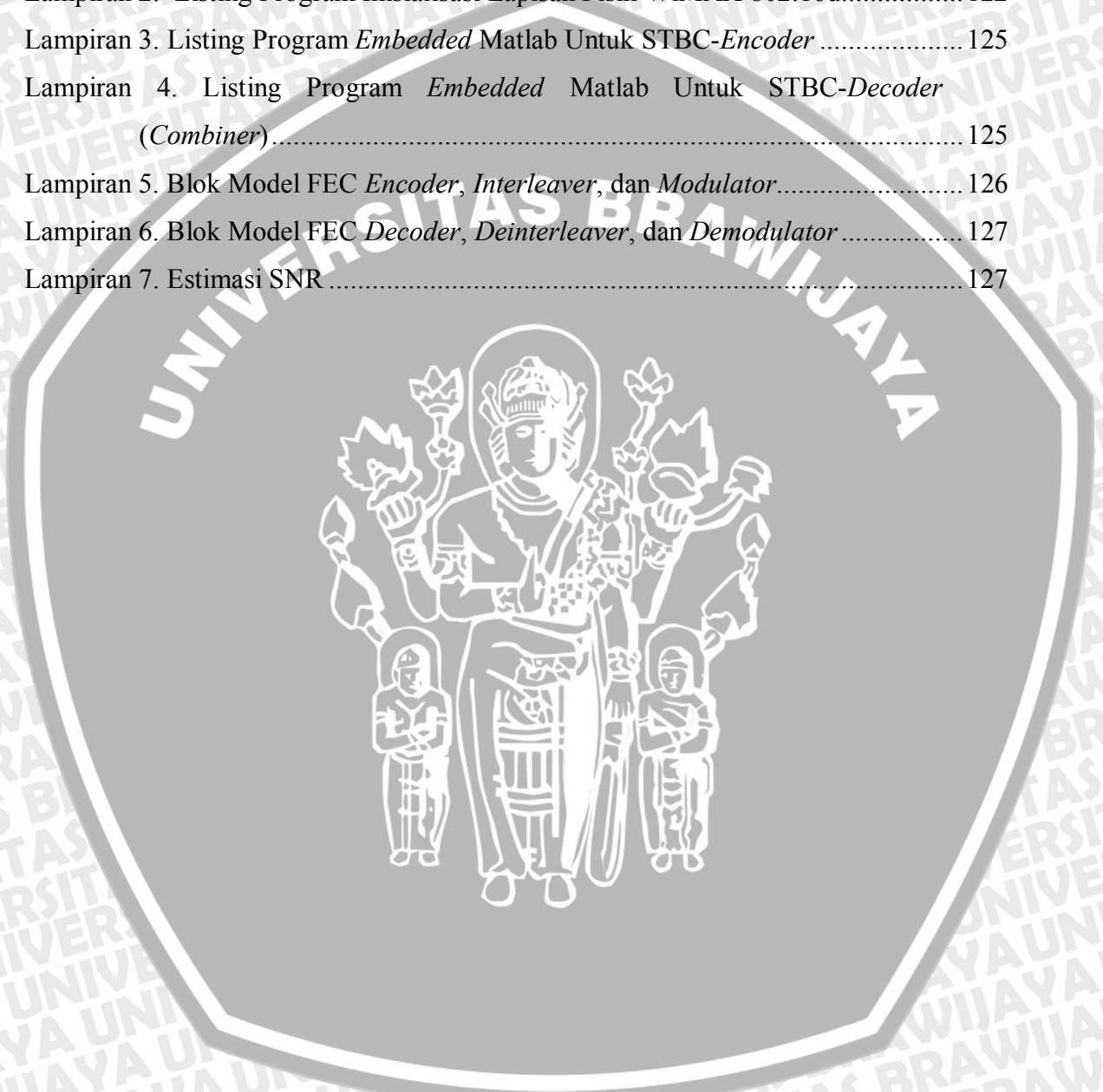
Gambar 5.3 Performansi Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d-STBC Pada Kanal
Rician *Fading*..... 107

Gambar 5.4 Performansi Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d-STBC Pada Kanal
Rayleigh *Fading*..... 109



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Langkah – langkah simulasi model sistem	115
Lampiran 2.	Listing Program Inisialisasi Lapisan Fisik WiMAX 802.16d.....	122
Lampiran 3.	Listing Program <i>Embedded</i> Matlab Untuk STBC-Encoder	125
Lampiran 4.	Listing Program <i>Embedded</i> Matlab Untuk STBC-Decoder (<i>Combiner</i>).....	125
Lampiran 5.	Blok Model FEC Encoder, Interleaver, dan Modulator.....	126
Lampiran 6.	Blok Model FEC Decoder, Deinterleaver, dan Demodulator.....	127
Lampiran 7.	Estimasi SNR	127

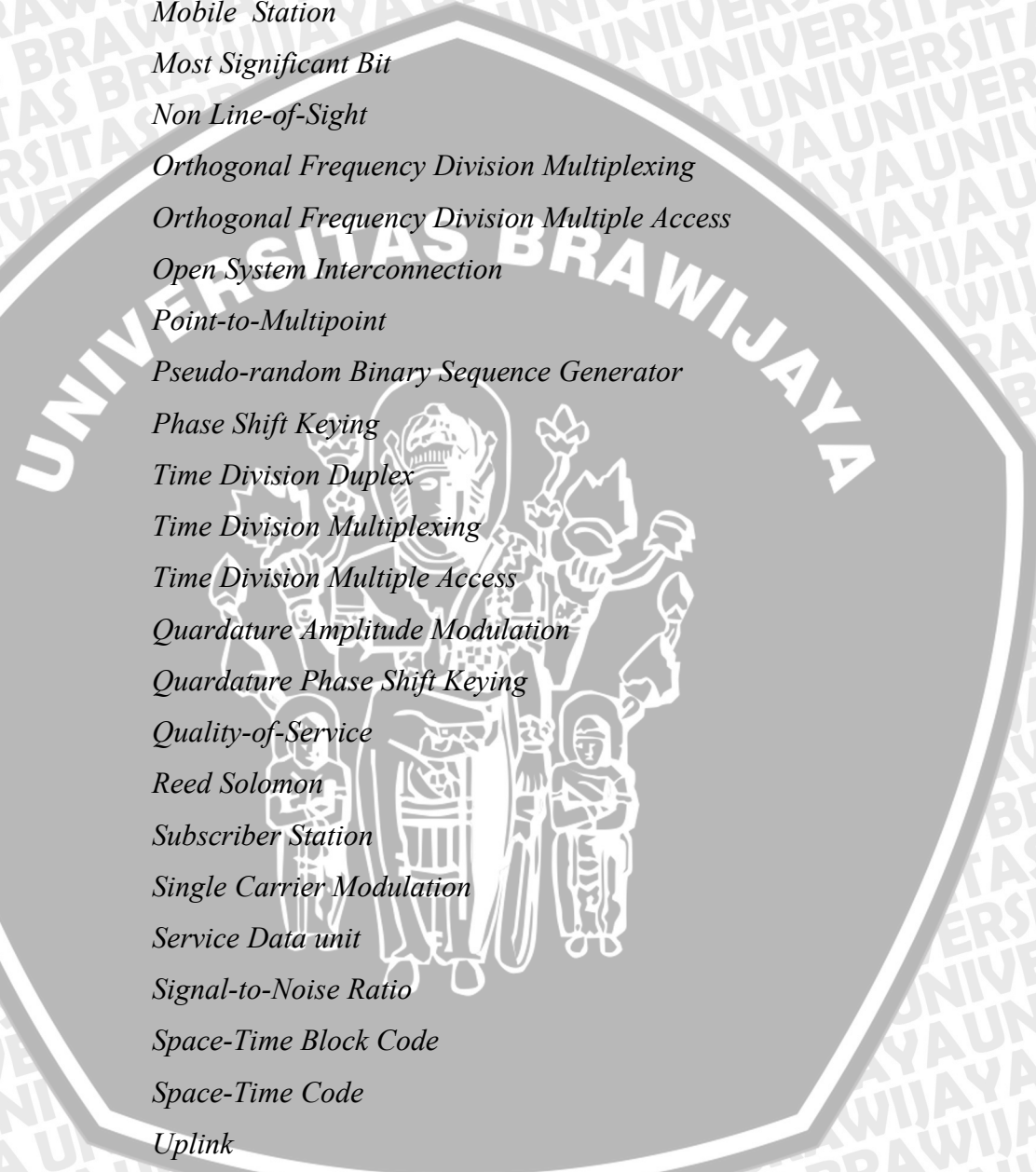


DAFTAR SINGKATAN

3GPP	<i>Third-Generation Partnership Project</i>
3GPP2	<i>Third-Generation Partnership Project 2</i>
AAA	<i>Authentication Authorization and Accounting</i>
AMC	<i>Adaptive Modulation and Coding</i>
ASN	<i>Access Service Network</i>
AWGN	<i>Adaptive White Gaussian Noise</i>
BER	<i>Bit Error Rate</i>
BPSK	<i>Binary Phase Shift Keying</i>
BWA	<i>Broadband Wireless Access</i>
CC	<i>Convolution Code</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CP	<i>Cyclic prefix</i>
CPS	<i>Common Part Sublayer</i>
CSN	<i>Connectivity Service Network</i>
DL	<i>Downlink</i>
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
ETSI	<i>European Telecommunication Standards Institute</i>
EV-DO	<i>Evolution Data Optimized</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>
FDM	<i>Frequency Division Multiplexing</i>
FEC	<i>Forward Error Control</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communication</i>
HSDPA	<i>High Speed Downlink Packet Access</i>
HSPA	<i>High Speed Packet Access</i>
HSUPA	<i>High Speed Uplink Packet Access</i>
IEEE	<i>Institut of Electrical and Electronics Engineering</i>
IFFT	<i>Inverse Fast Fourier Transform</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISI	<i>Intersymbol Interference</i>
LLC	<i>Logical Link Control</i>



LOS	<i>Line-of-Sight</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
MCM	<i>Multi Carrier Modulation</i>
MIMO	<i>Multiple-Input Multiple-Output</i>
MS	<i>Mobile Station</i>
MSB	<i>Most Significant Bit</i>
NLOS	<i>Non Line-of-Sight</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
PMP	<i>Point-to-Multipoint</i>
PRBS	<i>Pseudo-random Binary Sequence Generator</i>
PSK	<i>Phase Shift Keying</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
TDM	<i>Time Division Multiplexing</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
QAM	<i>Quardature Amplitude Modulation</i>
QPSK	<i>Quardature Phase Shift Keying</i>
QOS	<i>Quality-of-Service</i>
RS	<i>Reed Solomon</i>
SS	<i>Subscriber Station</i>
SCM	<i>Single Carrier Modulation</i>
SDU	<i>Service Data unit</i>
SNR	<i>Signal-to-Noise Ratio</i>
STBC	<i>Space-Time Block Code</i>
STC	<i>Space-Time Code</i>
UL	<i>Uplink</i>
UMB	<i>Ultra Mobile Broadband</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
WCDMA	<i>Wideband Code Divison Multiple Access</i>
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
WMAN	<i>Wireless Metropolitan Area Networking</i>



RINGKASAN

Muhamad Arif Budiman, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, 2009, *Penerapan Space-Time Block Code (STBC) Pada Sistem Komunikasi Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) 802.16d dengan Metode Alamouti*, Dosen Pembimbing : Rusmi Ambarwati, ST., MT. dan Rudy Yuwono, ST., MSc.

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) merupakan salah satu teknologi *Broadband Wireless Access (BWA)* generasi keempat. WiMAX 802.16d adalah salah satu standar teknologi WiMAX yang diaplikasikan untuk *fixed BWA*. Dalam sistem komunikasi WiMAX 802.16d *multipath fading* menjadi masalah yang sangat berpengaruh terhadap performansi sistem. Oleh karena itu, diterapkan teknik *space-time block code (STBC)* dengan Metode Alamouti pada sistem komunikasi WiMAX 802.16d untuk mengatasi masalah tersebut.

Pemodelan dan simulasi sistem komunikasi WiMAX 802.16d tanpa STBC maupun dengan STBC dilakukan dengan program Matlab 7.5.0 (R2007b). Penerapan Alamouti-STBC yang dilakukan adalah dengan menggunakan dua keluaran pada sebuah *transmitter* dan satu masukan pada sebuah *receiver*.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan menerapkan Alamouti-STBC pada sistem komunikasi WiMAX 802.16d, performansi sistem dapat meningkat. WiMAX 802.16d-STBC membutuhkan level SNR lebih kecil bila dibandingkan dengan WiMAX 802.16d tanpa STBC, untuk mendapatkan BER 10^{-3} . Adapun rata-rata selisih level SNR antara kedua sistem tersebut, pada kondisi kanal Rician *fading* yang telah ditentukan rata-rata selisihnya sebesar $\pm 16,5$ dB. Sedangkan pada kondisi kanal Rayleigh *fading* yang juga telah ditentukan, rata-rata selisihnya sebesar $\pm 18,25$ dB.

Kata kunci : WiMAX 802.16d, *multipath fading*, STBC, Metode Alamouti, BER, SNR.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini kebutuhan masyarakat akan informasi sangat tinggi, baik informasi tersebut berupa suara, gambar, maupun *video*. Dan dengan tingkat mobilitas masyarakat yang tinggi pula, maka diperlukan suatu teknologi telekomunikasi yang sangat handal dan dapat menawarkan berbagai layanan *multimedia*. Teknologi telekomunikasi tersebut adalah teknologi *Broadband Wireless Access* (BWA), dan teknologi ini menjadi sebuah tren teknologi saat ini maupun masa depan.

Worldwide Interoperability for Microwave Access atau lebih dikenal dengan WiMAX merupakan salah satu teknologi BWA yang telah dikembangkan, dan mempunyai standar teknologi tersendiri. Salah satu standar dari WiMAX yang telah umum digunakan adalah IEEE 802.16d, dan merupakan standar keluaran dari *Institut of Electrical and Electronics Engineering* (IEEE) yang diaplikasikan untuk *fixed* BWA.

Pada komunikasi *wireless* umumnya sinyal yang diterima merupakan kombinasi dari sejumlah sinyal yang mempunyai lintasan berbeda-beda. Hal ini dikarenakan sinyal asli dari *transmitter* mengalami pantulan dari beberapa objek yang terletak antara *transmitter* dan *receiver*. Ternyata kombinasi sinyal yang diterima *receiver* mengalami penurunan dan fluktuasi daya terima atau dikenal dengan *fading*. Salah satu penyebab terjadinya *fading* pada sinyal terima tersebut adalah perbedaan fasa dan amplitudo dari sinyal yang diterima.

Multipath fading menyebabkan data yang dikirimkan ke penerima mengalami kesalahan sehingga menjadikan tingkat *reliability* dari data yang dikirim menjadi kecil. Dengan kata lain *multipath fading* menjadi kendala yang berarti terhadap performansi dari sistem komunikasi WiMAX 802.16d.

Kanal komunikasi yang menyebabkan *fading* dikenal dengan kanal *fading*. Kanal *fading* ini dapat dimodelkan menjadi kanal Rayleigh *fading* apabila dalam komunikasi hanya terjadi komunikasi *non line-of-sight* (NLOS), sedangkan apabila terdapat komponen dominan dalam komunikasi atau dikenal dengan komponen *line-of-sight* (LOS), maka kanal *fading* dapat dimodelkan menjadi kanal Rician *fading*.

Berbagai macam metode yang digunakan dalam mengatasi *multipath fading*, salah satunya yaitu dengan teknik diversitas. Teknik diversitas merupakan suatu teknik dengan menggunakan dua atau lebih sinyal yang bersifat tidak mempengaruhi antara

satu sama lain. Dan tentunya teknik diversitas ini pun dapat diterapkan pada sistem komunikasi WiMAX.

Pada skripsi ini teknik diversitas yang digunakan adalah *space-time block code* (STBC), yakni salah satu teknik diversitas yang memungkinkan untuk mentransmisikan lebih dari satu sinyal dalam waktu bersamaan. Adapun salah satu metode yang digunakan pada STBC adalah Metode Alamouti. Pengaruh penerapan STBC pada sistem komunikasi WiMAX standar 802.16d dalam mengatasi masalah *multipath fading* akan dibahas dalam skripsi ini.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka pembahasan pembahasan skripsi ini ditekankan pada rumusan masalah sebagai berikut :

1. Apa pengaruh kanal Rician *fading* terhadap performansi sistem komunikasi WiMAX 802.16d,
2. Apa pengaruh kanal Rayleigh *fading* terhadap performansi sistem komunikasi WiMAX 802.16d,
3. Apa pengaruhnya penerapan Alamouti-STBC terhadap performansi sistem komunikasi WiMAX 802.16d pada kanal Rician *fading*,
4. Apa pengaruhnya penerapan Alamouti-STBC terhadap performansi sistem komunikasi WiMAX 802.16d pada kanal Rayleigh *fading*.

1.3 Ruang Lingkup

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka pembahasan dari skripsi ini memiliki batasan – batasan sebagai berikut :

1. Sistem komunikasi WiMAX yang digunakan hanya sebatas model sistem komunikasi *baseband* dari lapisan fisik WiMAX 802.16d, sehingga parameter antena tidak diperhitungkan,
2. Perancangan model sistem komunikasi dilakukan dengan menggunakan program Matlab 7.5.0 (R2007b), sehingga bersifat ideal,
3. Perancangan model didasarkan pada standar teknologi WiMAX 802.16d yang dirilis tahun 2004, dan dengan spesifikasi standar *air interface WirelessMAN-OFDM*,
4. Sistem komunikasi yang dilakukan hanya sebatas sebuah *transmitter* dan sebuah *receiver*,

5. Model kanal *fading* yang digunakan sebagai kanal uji performansi adalah model kanal Rician *fading* dan kanal Rayleigh *fading*, karena dalam sistem komunikasi *fixed BWA* (WiMAX 802.16d) sinyal yang diterima oleh sebuah *receiver* merupakan perpaduan sinyal LOS dan NLOS atau hanya sinyal NLOS.
6. Penerapan STBC dilakukan dengan menggunakan dua keluaran dalam sebuah *transmitter* dan satu masukan dalam sebuah *receiver*,
7. Parameter performansi yang diukur adalah *Bit Error Rate* (BER) terhadap *Signal to Noise Ratio* (SNR),

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah menerapkan Alamouti-STBC pada lapisan fisik WiMAX 802.16d dan menganalisis performansi WiMAX 802.16d setelah menggunakan Alamouti-STBC pada kanal *multipath fading*.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dan gambaran untuk setiap bab pada skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini memuat tentang latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini memuat tentang pustaka mengenai teknologi *Broadband Wireless Access* khususnya teknologi WiMAX dengan standar IEEE 802.16d, kemudian tentang teknik diversitas, terutama teknik *Space-Time Block Code* (STBC) dengan Metode Alamouti. Selanjutnya tentang kanal propagasi khususnya kanal *fading*, dan yang terakhir tentang parameter performansi sistem komunikasi, khususnya mengenai *bit error rate* (BER).

BAB III METODOLOGI

Pada bab ini memuat tentang urutan-urutan metode penelitian yang digunakan dalam menyelesaikan skripsi ini, yakni mengenai studi literatur, pemodelan sistem, simulasi sistem, menganalisis data dan yang terakhir pengambilan keputusan.

BAB IV PEMODELAN

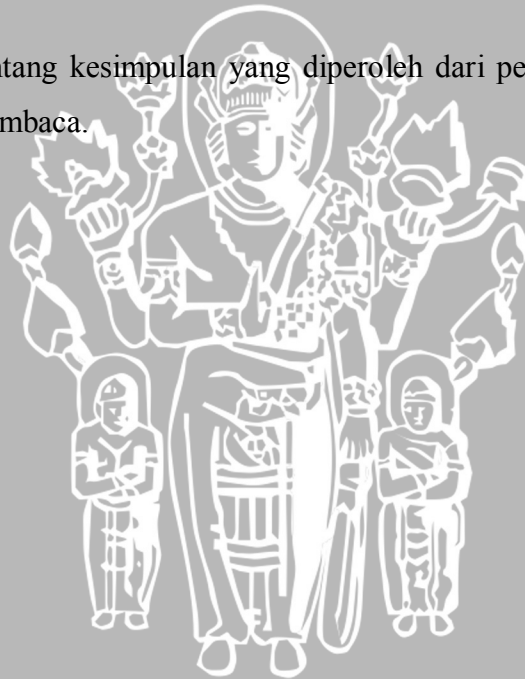
Pada bab ini memuat tentang pemodelan lapisan fisik WiMAX 802.16d sesuai dengan standar yang dikeluarkan oleh IEEE, terutama dalam memodelkan dan menerapkan Alamouti-STBC pada lapisan fisik WiMAX 802.16d, dan memodelkan kanal uji performansi sistem komunikasi dari WiMAX 802.16d, serta memodelkan pengukur parameter performansi yang dikaji pada skripsi ini

BAB V PEMBAHASAN

Pada bab ini memuat tentang pembahasan mengenai analisis performansi sistem komunikasi WiMAX 802.16d pada kanal *fading*, dan performansi sistem komunikasi WIMAX 802.16d setelah diterapkan teknik Alamouti-STBC pada kanal *fading*.

BAB VI PENUTUP

Pada bab ini memuat tentang kesimpulan yang diperoleh dari pembahasan, dan saran yang diberikan kepada pembaca.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam sebuah penelitian diperlukan suatu pustaka yang mendasari penelitian atau sebagai referensi dari penelitian tersebut. Dan pustaka inilah yang menjadi tahapan lanjutan, setelah merumuskan hal-hal yang fundamental dalam melakukan sebuah penelitian.

Dalam bab ini akan dijelaskan tentang pustaka yang menjadi dasar dan referensi dari penyusunan skripsi ini. Adapun pada bahasan pertama dijelaskan mengenai perkembangan teknologi *Broadband Wireless Access* (BWA) yang dikembangkan oleh beberapa grup, seperti IEEE, 3GPP, dan 3GPP2. Kemudian pada bagian selanjutnya dijelaskan mengenai konsep tentang WiMAX, khususnya standar IEEE 802.16d. Pada bagian berikutnya akan dijelaskan mengenai teknik diversitas secara umum, dan mengenai konsep *space-time block code* dengan Metode Alamouti. Setelah itu, dijelaskan mengenai kanal *fading* yang menjadi permasalahan dalam sistem komunikasi *wireless*. dalam bagian ini juga dijelaskan mengenai model kanal yang merepresentasikan sebuah kanal *fading* tersebut. Pada bagian akhir tinjauan pustaka ini, akan dijelaskan mengenai parameter performansi sistem, yakni mengenai *signal-to-noise ratio* dan *bit error rate*.

2.1 *Broadband Wireless Access* (BWA)

Broadband wireless merupakan perpaduan dari dua teknologi telekomunikasi yang sangat populer dan mempunyai perkembangan yang sangat cepat pada akhir abad ini. Teknologi populer tersebut adalah teknologi *wireless* dan *broadband*, keduanya menjadi populer dan berkembang cepat karena kebutuhan masyarakat akan komunikasi data sangat tinggi, terlebih lagi komunikasi data menjadi idola saat ini. Hal ini terbukti dari semakin cepat meningkatnya kebutuhan masyarakat akan internet, ataupun layanan lainnya yang mendukung aktifitas sehari-hari.

Perpaduan antara teknologi *broadband* dan *wireless*, menjadi solusi dari keterbatasan kedua teknologi tersebut. Kita ketahui bahwa teknologi *broadband* berawal dari munculnya teknologi *Digital Subscriber Line* (DSL), dan keterbatasan teknologi ini masih menggunakan media kabel sebagai media transmisinya. Tetapi dalam perkembangannya teknologi ini memberikan berbagai macam layanan yang menjanjikan bagi penggunaanya, seperti internet kecepatan tinggi, dan berbagai layanan

multimedia. Sedangkan teknologi *wireless* menjadi sangat populer, karena pengguna dapat menikmati layanan dimana-mana, sebatas masih dalam jangkauan jaringan *wireless* tersebut. Tetapi keterbatasan teknologi ini adalah masih kurangnya layanan yang diberikan, karena keterbatasan kecepatan akses data, sehingga kurang mendukung layanan *multimedia* dan internet kecepatan tinggi. Dari keterbatasan kedua teknologi tersebut, hadirilah teknologi *broadband wireless access* (BWA) yang memberikan layanan *broadband* dengan kecepatan tinggi tanpa kabel.

Broadband wireless access mempunyai dua tipe layanan, yakni *fixed wireless broadband* dan *mobile broadband*. Layanan *fixed wireless broadband* sama dengan layanan yang diberikan dengan menggunakan teknologi DSL, tetapi tanpa menggunakan media kabel sebagai media transmisinya. Sedangkan *mobile broadband* memberikan layanan *broadband* yang mempunyai nilai tambah, yaitu *portability*, *nomadic* dan *mobility*.

2.1.1 Generasi Teknologi *Broadband Wireless Access* (BWA)

Pada perkembangan generasi teknologi telekomunikasi, teknologi 3G sudah dapat dikatakan sebagai awal munculnya teknologi *broadband*, karena dapat memberikan layanan *broadband* kepada penggunaannya, walaupun masih terdapat kekurangannya. UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) dan 1x EV-DO (*Evolution Data Optimized*) dikenal sebagai teknologi generasi ketiga, yakni UMTS dikembangkan dari teknologi GSM (*Global System for Mobile Communication*) dan 1x EV-DO dikembangkan dari teknologi CDMA (*Code Division Multiple Access*).

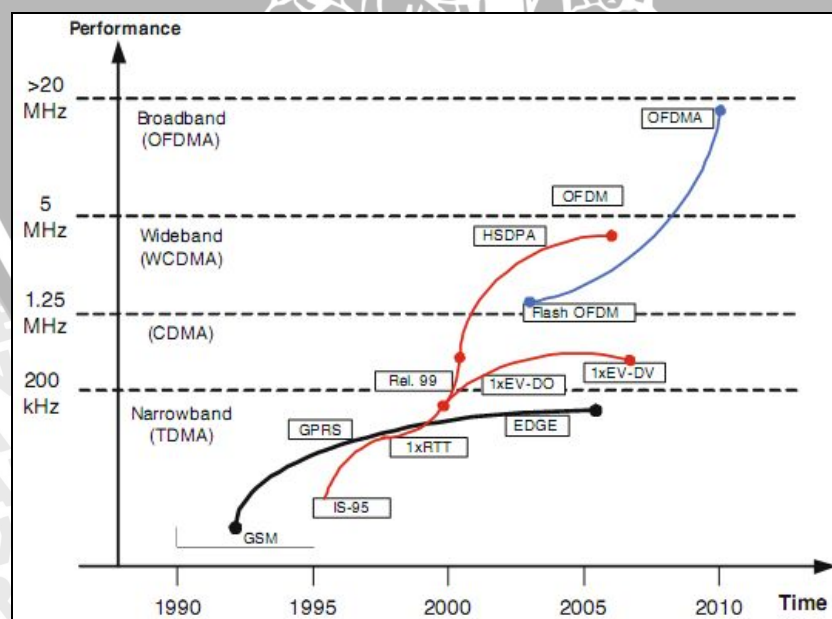
Seiring perkembangannya, teknologi UMTS berkembang menjadi teknologi HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) dan HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*), sebagai teknologi 3,5G. Teknologi 3G dan 3,5G ini menggunakan *bandwidth* kanal yang sama yakni 5 MHz. Tetapi perbedaannya terletak pada *data rate* masing-masing teknologi. Pada teknologi HSDPA, *data rate* pada *downlink* dapat mencapai 3,6 Mbps dan *data rate uplink* dapat mencapai 384 kbps. Sedangkan teknologi HSUPA, *data rate* mencapai 5,8 Mbps. Dan gabungan dari teknologi HSDPA dan HSUPA adalah HSPA (*High Speed Packet Access*).

Standar teknologi yang berkembang dari teknologi GSM merupakan standar yang dikeluarkan oleh 3GPP (*Third-Generation Partnership Project*). Teknologi UMTS merupakan standar 3GPP Release-1999, yang didasarkan pada teknologi WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*). Kemudian pada tahun 2005, 3GPP

mengeluarkan standar *Release 5* yang menjadi standar dari teknologi HSDPA. Setelah itu, standar 3GPP *Release 6* keluar dan menjadi standar dari gabungan teknologi HSDPA dan HSPA. 3GPP mengeluarkan standar *Release 7* untuk teknologi HSPA+, yang merupakan pengembangan dari teknologi HSPA sebelumnya.

Teknologi *broadband wireless* yang berkembang dari teknologi CDMA, dikembangkan oleh 3GPP2 (*Third-Generation Partnership Project 2*). Berawal dari standar *Release-0* yang menjadi standar teknologi 1xEV-DO, kemudian berkembang menjadi standar *Revision-A*, yang mempunyai *data rate* sampai 3,1 Mbps pada *uplink* dan 1,8 Mbps pada *downlink*. Setelah itu berkembang menjadi standar *Revision-B* yang mempunyai *data rate* sampai 14,7 Mbps pada *downlink* dan 5,4 Mbps pada *uplink*.

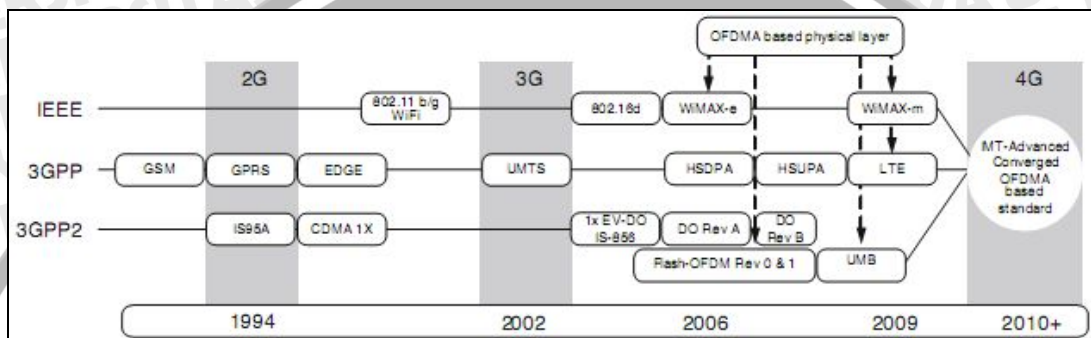
Pengembangan standar teknologi *broadband wireless access* dapat dikatakan mengarah dalam penggunaan pita lebar dan teknologi *multicarrier*. Penggunaan teknologi *multicarrier* menjadikan tingkat performansi sistem menjadi tinggi dan handal dalam menanggulangi *fading*. Teknologi *multicarrier* inilah yang menjadi awal dari munculnya generasi keempat dalam teknologi telekomunikasi. Teknologi OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) merupakan salah satu dari teknologi *multicarrier* yang juga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan *bandwidth* frekuensi. Adapun perkembangan teknologi telekomunikasi berdasarkan teknologi yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Perkembangan Teknologi Telekomunikasi

Sumber : Mustafa Ergen, 2009:5

Generasi keempat yang dikeluarkan oleh 3GPP adalah teknologi LTE (*Long Term Evolution*) dengan standar 3GPP Release 8, 3GPP2 mengeluarkan standar *Revision-C* sebagai teknologi 4G, yakni UMB (*Ultra Mobile Broadband*). Adapun IEEE (*Institute Electrical Electronics Engineering*) juga mengeluarkan standar teknologi generasi keempatnya, yakni WiMAX (*Worldwide Interoperability of Microwave Access*). Persamaan dari ketiga teknologi tersebut adalah menggunakan teknologi OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) dan berbasis IP. Adapun evolusi teknologi telekomunikasi dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Evolusi Teknologi Telekomunikasi

Sumber : Mustafa Ergen, 2009:15

Adapun parameter karakteristik dari pengembangan teknologi *broadband wireless access* adalah

a. Peningkatan *data rate*

Penggunaan OFDMA menjadikan tingkat *data rate* tinggi dengan menggunakan tingkat modulasi yang tinggi, seperti 64QAM, dan juga dapat ditingkatkan dengan penggunaan MIMO dan *beamforming* pada *station*. Tetapi juga disertai dengan tingkat koreksi error yang tinggi, adapun teknik yang digunakan adalah FEC (*Forward Error Correction*).

b. Efisiensi *broadband* frekuensi

Tingkat efisiensi penggunaan frekuensi akan memberikan keuntungan bagi operator, karena dapat menurunkan biaya tiap bit komunikasi.

c. Tingkat fleksibilitas perencanaan radio sel

Fleksibilitas dalam mengatur perencanaan sel radio akan memberikan keuntungan bagi operator, karena dapat mengatur sel radio sesuai dengan permintaan.

d. Penurunan *latency*

Penurunan *latency* akan sangat mendukung aplikasi-aplikasi yang membutuhkan *delay* propagasi yang kecil, seperti aplikasi layanan *real time* (*video conferencing, multi player gaming*).

e. Berbasis IP

Teknologi yang berbasis IP akan meningkatkan *interworking* dengan jaringan *fixed* maupun *mobile* lainnya.

f. *Interworking*

Teknologi nantinya akan dapat melakukan *interworking* dengan jaringan yang sudah ada.

g. *Open interfaces*

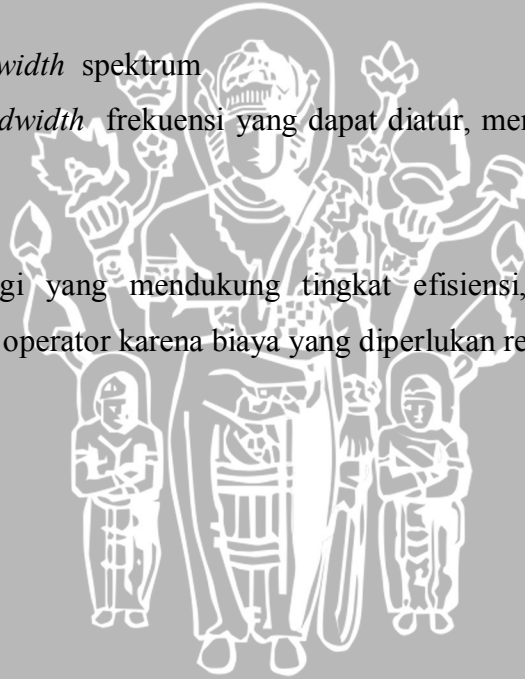
Teknologi yang *open interface* akan memberikan kefleksibelan bagi *vendor* jaringan dalam memberikan solusi terbaik kepada operator, yakni dalam hal perangkat.

h. Fleksibilitas *bandwidth* spektrum

Penggunaan *bandwidth* frekuensi yang dapat diatur, memberikan keuntungan bagi operator.

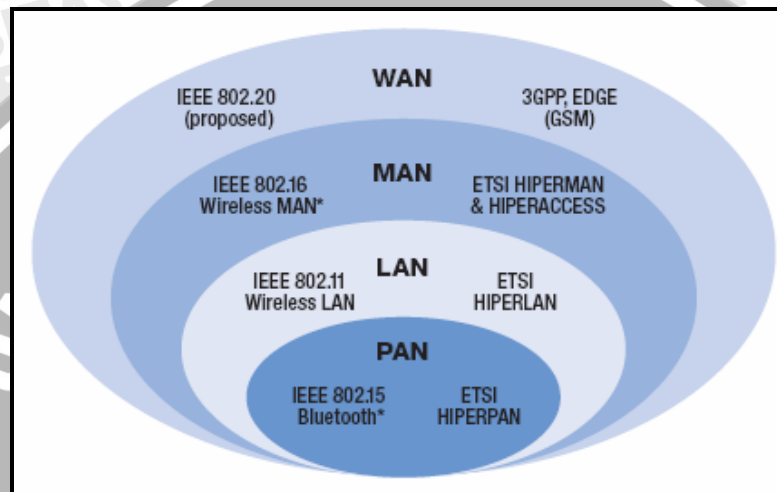
i. Biaya rendah

Standar teknologi yang mendukung tingkat efisiensi, maka memberikan keuntungan bagi operator karena biaya yang diperlukan rendah.



2.2 Worldwide Interoperability of Microwave Access (WiMAX)

Worldwide Interoperability of Microwave Access (WiMAX) merupakan teknologi yang didasarkan pada *Wireless Metropolitan Area Networking (WMAN)* standar dan dikembangkan oleh IEEE 802.16 grup, seperti terlihat pada Gambar 2.3. Grup ini merupakan gabungan dari IEEE dan ETSI HIPERMAN grup. Grup IEEE 802.16 dibentuk untuk mengembangkan sebuah standar *air-interface* untuk *wireless broadband* pada tahun 1998.



Gambar 2.3 Standar Teknologi Berdasarkan *Network Area*
Sumber : Deepak Pareek, 2006:10

2.2.2 Standar WiMAX

Perkembangan teknologi WiMAX berawal dari pembentukan grup IEEE 802.16. Fokus awal dari grup IEEE 802.16 ini adalah mengembangkan sistem *point-to-multipoint LOS (line-of-sight)* untuk komunikasi *wireless broadband* yang beroperasi pada frekuensi 10 GHz-66 GHz. Pada Desember 2001, fokus awal dari grup ini telah selesai dengan menghasilkan sebuah standar awal dari teknologi *wireless broadband*.

Grup IEEE 802.16 mengeluarkan standar revisi yakni 802.16a yang dapat mendukung aplikasi *non-line of sight (NLOS)* pada band frekuensi 2GHz – 11GHz, dengan menggunakan teknologi *orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)* pada *layer* fisik dari WiMAX. Karena mendukung aplikasi NLOS, maka WiMAX standar 802.16a ini bisa dikatakan menjadi solusi awal dari transmisi jarak jauh yang besar kemungkinan kanal propagasi antara *transmitter* dan *receiver* terdapat bangunan, pepohonan ataupun benda lain yang menghalangi. IEEE 802.16a juga mendukung aplikasi *point-to-multipoint (PMP)*, yakni dengan menggunakan topologi mesh.

Kemudian pada tahun 2004, IEEE kembali mengeluarkan standar 802.16-2004 yang merupakan revisi dari standar sebelumnya, dan juga dikenal dengan standar 802.16d. Standar WiMAX ini ditargetkan untuk aplikasi *fixed broadband wireless*, dan standar ini juga mendukung aplikasi PMP dan topologi mesh.

Pada Desember 2005, IEEE menyelesaikan standar dari WiMAX yang dikenal dengan standar 802.16e. Standar ini merupakan pengembangan dari standar 802.16d, yakni dapat mendukung aplikasi *mobile*. Sehingga standar 802.16e ini merupakan standar yang dapat memberikan layanan *fixed wireless broadband* dan *mobile broadband*.

Adapun beberapa spesifikasi dari perkembangan standar WiMAX dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Spesifikasi Standar WiMAX

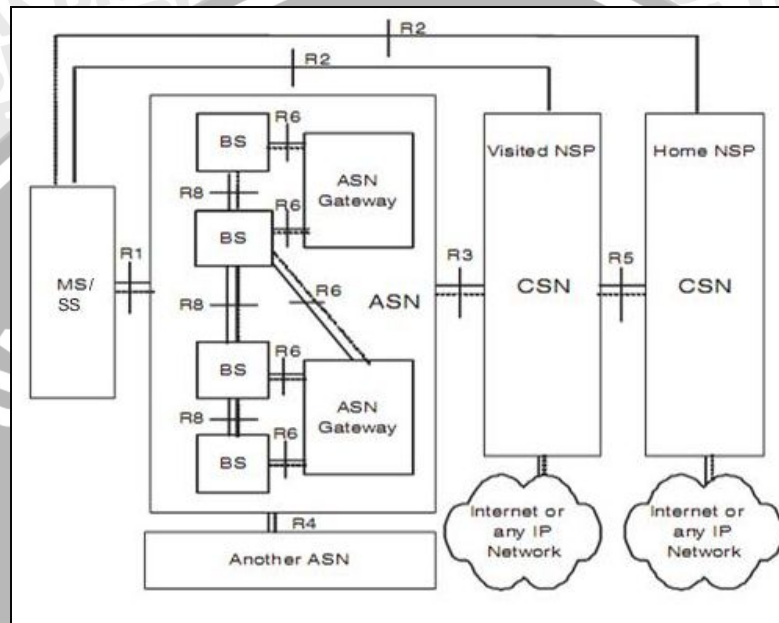
	802.16	802.16d-2004	802.16e-2005
<i>Status</i>	<i>Completed December 2001</i>	<i>Completed June 2004</i>	<i>Completed December 2005</i>
<i>Frequency band</i>	10GHz – 66GHz	2GHz – 11GHz	2GHz - 11GHz for <i>fixed</i> ; 2GHz – 6GHz for <i>mobile application</i>
<i>Application</i>	<i>Fixed LOS</i>	<i>Fixed NLOS</i>	<i>Fixed and mobile NLOS</i>
<i>MAC architecture</i>	<i>Point-to- multipoint, mesh</i>	<i>Point-to- multipoint, mesh</i>	<i>Point-to- multipoint, mesh</i>
<i>Transmission scheme</i>	<i>Single carrier only</i>	<i>Single carrier , 256 OFDM or 2048 OFDM</i>	<i>Single carrier , 256 OFDM or scalable OFDM with 128, 512, 1024, 2048</i>

			<i>Subcarrier</i>
<i>Modulation</i>	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
<i>Gross data rate</i>	32Mbps – 134,4Mbps	1Mbps – 75Mbps	1Mbps – 75Mbps
<i>Multiplexing</i>	<i>Burst TDM/ TDMA</i>	<i>Burst TDM/ TDMA/ OFDMA</i>	<i>Burst TDM/ TDMA/ OFDMA</i>
<i>Duplexing</i>	TDD and FDD	TDD and FDD	TDD and FDD
<i>Channel band- widths</i>	20MHz, 25 MHz, 28MHz	1,75MHz; 3,5MHz; 7MHz; 14MHz; 1,25MHz; 5MHz; 10MHz; 15MHz; 8,75MHz	1,75MHz; 3,5MHz; 7MHz; 14MHz; 1,25MHz; 5MHz; 10MHz; 15MHz; 8,75MHz
<i>Air-interface designation</i>	<i>Wireless MAN- SC</i>	<i>Wireless MAN- SCa</i> <i>Wireless MAN- OFDM</i> <i>Wireless MAN- OFDMA</i> <i>Wireless HUMAN</i>	<i>Wireless MAN- SCa</i> <i>Wireless MAN- OFDM</i> <i>Wireless MAN- OFDMA</i> <i>Wireless HUMAN</i>
<i>WiMAX implementation</i>	<i>None</i>	256-OFDM as <i>Fixed WiMAX</i>	<i>Scalabe OFDMA as mobile WiMAX</i>

Sumber : Andrews, J.G. Arunabha G. Rias Muhamed, 2007:35

2.2.3 Arsitektur WiMAX

Arsitektur WiMAX secara umum terdiri dari tiga bagian utama yang terkoneksi dengan standar *interface* (protokol) yang telah ditentukan. Adapun tiga bagian tersebut yaitu *Mobile Station* (MS) atau *Subscriber Station* (SS), *Access Service Network* (ASN), dan *Connectivity Service Network* (CSN). Arsitektur umum WiMAX dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.4 Arsitektur Umum WiMAX

Sumber : Andrews, J.G. Arunabha G. Rias Muhamed, 2007:338

Bagian-bagian arsitektur WiMAX :

- a. *Subscriber Station* (SS), merupakan terminal dari setiap pengguna yang menyediakan sambungan antara pengguna dengan *base station* (BS).
- b. *Access Service Network* (ASN) ASN merupakan subsistem yang memberikan semua fungsionalitas koneksi radio dengan pengguna WiMAX. Oleh karena itu, tugas utama dari ASN adalah sebagai berikut :
 1. Menyediakan konektivitas ke pelanggan WiMAX,
 2. Mengatur mekanisme *Radio Resource Management* (RRM), seperti mengontrol *handover* (IEEE 802.16e),
 3. *Paging and location management* (*mobile* WiMAX/IEEE 802.16e)
 4. Mengkoneksikan antara SS dengan CSN,
 5. *Tunneling* data dan *signaling* antara ASN dengan CSN,

Pada jaringan WiMAX, ASN terdiri dari *Base Station* dan *ASN Gateway*.

Adapun penjelasan dari masing-masing bagian tersebut, adalah :

1. *Base Station* (BS)

Base Station merupakan perangkat *transceiver* (*transmitter* dan *receiver*) yang bertanggung jawab untuk melayani *subscriber station* (SS) dalam sebuah *coverage area* yang menggunakan suatu frekuensi tertentu.

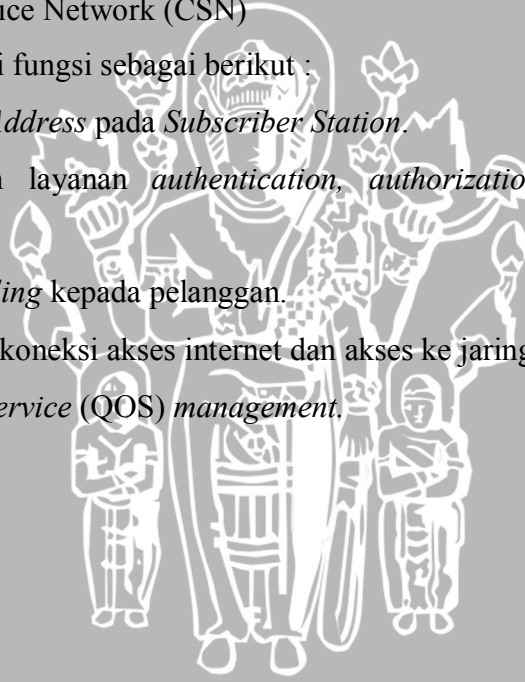
2. *ASN Gateway*

Pada intinya *ASN Gateway* bertugas untuk *radio resource management* dan *admission control*, *routing* ke CSN, *location management* dan *paging*.

c. *Connectivity Service Network* (CSN)

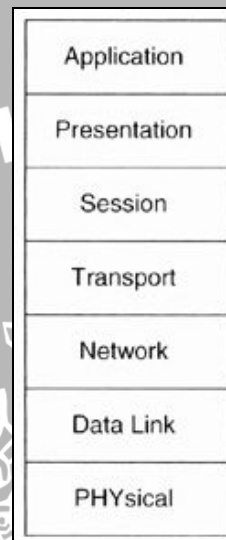
CSN mempunyai fungsi sebagai berikut :

- Alokasi *IP Address* pada *Subscriber Station*.
- Memberikan layanan *authentication*, *authorization*, serta *accounting* (AAA)
- Layanan *billing* kepada pelanggan.
- Mengontrol koneksi akses internet dan akses ke jaringan IP lain,
- *Quality of Service* (QOS) *management*.



2.2.4 Protokol Layer WiMAX

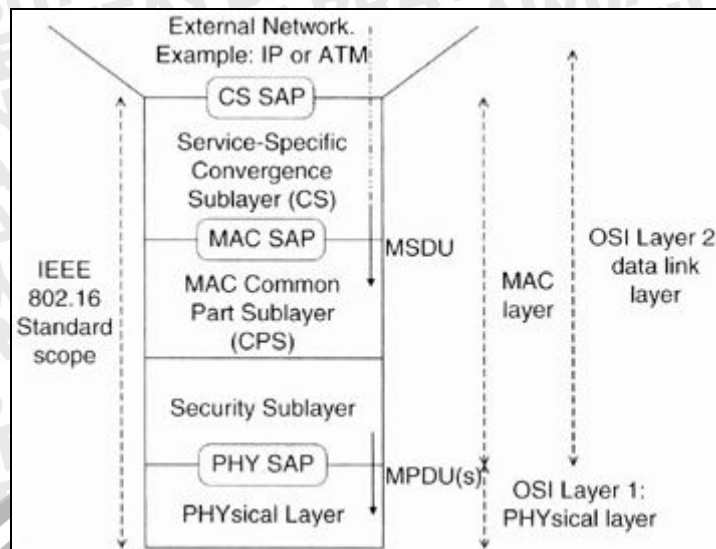
Open system interconnection (OSI) model merupakan standar model jaringan komunikasi yang terdiri dari tujuh *layer* yang berbeda, adapun OSI model dapat dilihat pada Gambar 2.5. Tipikalnya dalam OSI model, *layer* bawah (*Layer* 1 sampai *layer* 3) berhubungan dengan *hardware* sedangkan *layer* atas (*layer* 4 – *layer* 7), berhubungan dengan *software*.



Gambar 2.5 Tujuh Layer pada OSI Model Jaringan komunikasi

Sumber : Loutfi Nuaymi , 2007

Pada standar IEEE 802, *layer data link* dipecah menjadi dua *sublayer* , yakni *logical link control* (LLC) dan *media access control* (MAC). Standar WiMAX merupakan standar teknologi yang terletak *layer* fisik dan *layer* MAC. Pada *layer* MAC dibagi lagi menjadi tiga *sublayer* , yakni *Convergence Sublayer* (CS), *Common Part Sublayer* (CPS), dan *Security Sublayer* . Adapun protokol *layer* dari WiMAX sendiri dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Protokol Layer IEEE 802.16 (WiMAX)

Sumber : Loutfi Nuaymi , 2007

2.2.4.1 Lapisan Fisik WiMAX

Lapisan atau *layer* fisik merupakan lapisan terbawah dari protokol *layer* WiMAX dan lapisan ini menentukan koneksi fisik antara dua sisi yang akan melakukan komunikasi. Pada lapisan fisik ini terjadi transmisi bit, sehingga ditentukan tipe sinyal yang digunakan, jenis modulasi dan demodulasi, daya transmisi dan karakteristik fisik lainnya. Pada jaringan komunikasi WiMAX, lapisan ini bertujuan untuk mengirimkan data bit dari *transmitter* ke *receiver* melalui medium fisik, dalam hal ini udara.

Pada standar WiMAX 802.16 terdapat lima *interface* fisik. Standar pertama, yakni *WirelessMAN-SC*, menggunakan *single carrier modulation* dan komunikasinya harus *line-of-sight* (LOS). Kemudian standar yang kedua merupakan standar revisi dari standar pertama, yakni *WirelessMAN-SCa*. Pengembangan dari standar ini adalah komunikasi dapat dilakukan walaupun antar *transmitter* dan *receiver* ada halangan, atau istilahnya adalah komunikasi *non-line-of-sight* (NLOS). Dan juga pada standar ini bekerja pada frekuensi 2 GHz – 11 GHz. Karena pada standar kedua masih menggunakan *single carrier*, maka pada standar ketiga WiMAX menggunakan teknologi *multicarrier* yaitu *orthogonal frequency division multiplexing* (OFDM). Teknik OFDM yang digunakan pada standar ini, menggunakan 256 *Subcarrier*. Standar ini disetujui oleh WiMAX forum sebagai standar dari *fixed* WiMAX (IEEE 802.16d). setelah itu standar ini dikembangkan untuk aplikasi *mobile* dengan menerapkan teknologi *orthogonal frequency division multiple access* (OFDMA). Jumlah *carrier* yang dapat digunakan dalam standar ini bisa mencapai 2048 *Subcarrier*

dan standar ini sebagai standar dari *mobile* WiMAX (IEEE 802.16e). Adapun kelima standar tersebut dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Standar Interface WiMAX

<i>Designation</i>	<i>Band Frekuensi</i>	<i>Duplexing</i>
<i>WirelessMAN-SC</i>	10 GHz – 66 GHz (LOS)	TDD dan FDD
<i>WirelessMAN-SCa</i>	2GHz – 11 GHz (NLOS)	TDD dan FDD
<i>WirelessMAN-OFDM</i>	2GHz – 11 GHz (NLOS)	TDD dan FDD
<i>WirelessMAN-OFDMA</i>	2GHz – 11 GHz (NLOS)	TDD dan FDD
<i>Wireless HUMAN</i>	2GHz – 11 GHz (NLOS)	Hanya TDD

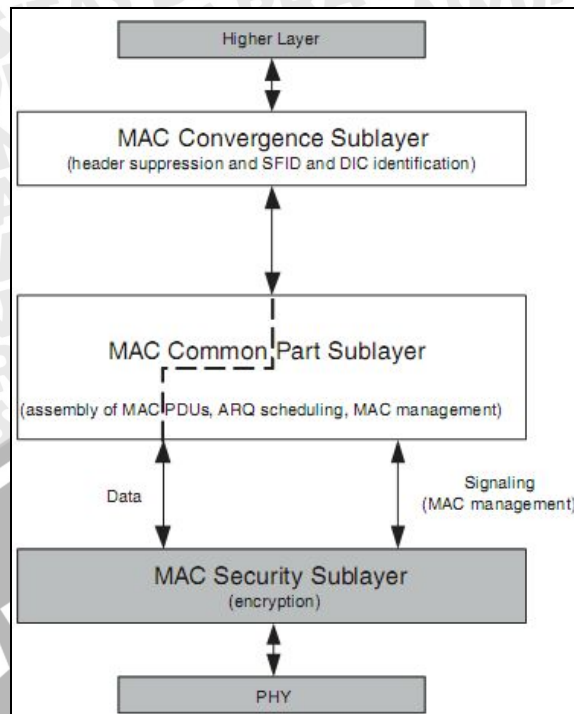
Sumber : *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Oktober 2004 : 2*

Standar *air interface* tersebut nantinya akan menentukan spesifikasi *layer* fisik dari WiMAX. Adapun komponen utama *layer* fisik dari teknologi WiMAX adalah teknologi *multicarrier*, baik OFDM maupun OFDMA.

Pada skripsi ini lebih ditekankan pada teknik OFDM, karena standar WiMAX yang digunakan adalah IEEE 802.116d dengan *air interface wirelessMAN-OFDM*. Untuk lebih jelasnya teknik OFDM akan dideskripsikan pada subbab berikutnya pada skripsi ini.

2.2.4.2 Lapisan MAC WiMAX

Lapisan MAC (*Medium Access Control*) merupakan lapisan yang terbagi menjadi tiga *sublayer* yang mempunyai fungsi masing-masing. *Sublayer* tersebut adalah *service-specific convergence sublayer* (CS), *common-part sublayer* dan *security sublayer*. *Sublayer* pada *layer* MAC dapat dilihat pada Gambar 2.7



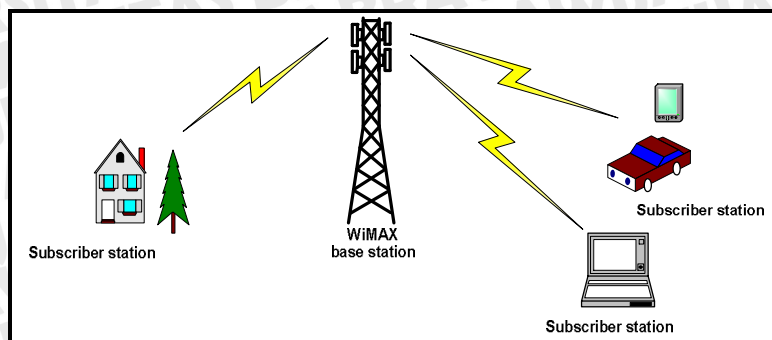
Gambar 2.7 WiMAX MAC Layer

Sumber : Andrews, J.G. Arunabha G. Rias Muhamed, 2007:308

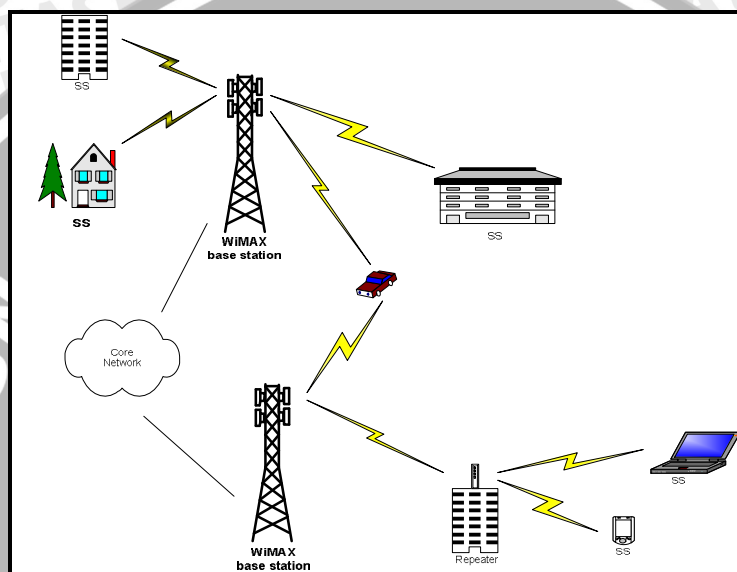
Secara umum fungsi dan tugas dari MAC layer adalah

- Mengatur penerimaan *service data unit* (SDU) dari layer yang lebih tinggi (*layer network*), yang nantinya diubah ke MAC PDU (*protocol data unit*),
- Menransmisikan kembali MAC PDU yang error saat diterima oleh *receiver*,
- Menentukan *burst profile* dan *level power* saat mentransmisikan MAC PDU,
- Mengatur pentransmisian MAC PDU ke layer fisik,
- Sebagai *security* dan *key management*,
- Mengontrol *power-saving mode* dan *idle-mode*.

Pada lapisan ini juga mengatur tentang akses yang dapat dilakukan dalam jaringan komunikasi WiMAX. Akses yang dapat dilakukan pada WiMAX ada dua cara, yaitu *point-to-multipoint* (PMP) dan topologi *mesh*. Tipe akses dengan PMP adalah sebuah *base station* sebagai pusat komunikasi untuk setiap *subscriber station* (SS), dengan kata lain BS sebagai sentral komunikasi, seperti terlihat pada Gambar 2.8 (a). Sedangkan tipe akses menggunakan topologi *mesh* yaitu setiap *subscriber station* dapat membuat komunikasi dengan *subscriber station* lain dalam sebuah jaringan, seperti pada Gambar 2.8 (b).



(a)



(b)

Gambar 2.8 (a) Topologi *Point-to-Multipoint*, (b) Topologi *Mesh*

Sumber : <http://www.sinauonline.50webs.com>

2.2.5 WiMAX Standar IEEE 802.16d

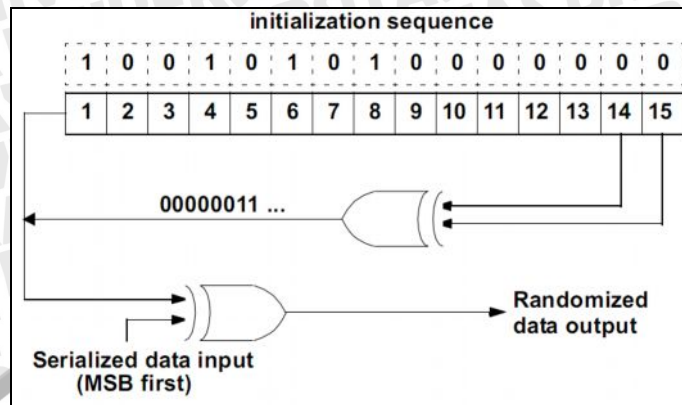
2.2.5.1 Layer Fisik IEEE 802.16d

Lapisan fisik dari WiMAX dengan konfigurasi *wireless* MAN-OFDM pada dasarnya menggunakan teknik OFDM dengan jumlah 256 *Subcarrier*. Adapun penyusun lapisan fisiknya adalah sebagai berikut :

a. Pengacak bit (*randomizer*)

Proses pengacakan data diperlukan untuk mengenkripsi data asli sehingga terhindar dari penyadapan. Setiap data masuk ke dalam *randomizer* secara berurutan diawali dengan bit paling depan atau MSB (*Most Significant Bit*). Kemudian dilakukan penambahan modulo-2 dari bit keluaran *pseudo-random binary sequence generator* (PRBS). Metode pengacakan yang digunakan

merupakan *sequence polynomial* $x^{15} + x^{14} + 1$ dengan 15 bit yang dapat diprogram. Adapun logika diagram dari randomizer dapat dilihat pada Gambar 2.9

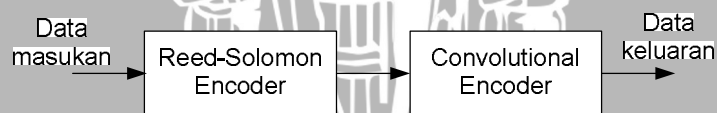


Gambar 2.9 Logika Diagram Randomizer

Sumber : IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Oktober 2004 : 320

b. Forward Error Control (FEC)

Forward error control (FEC) merupakan suatu teknik dalam mengkodekan data dan juga berguna untuk pengoreksian data apabila terjadi kesalahan. FEC terdiri dari dua proses pengkodean utama, yakni pengkodean luar (*outer code*) dan pengkodean dalam (*inner code*). Pengkodean luar menggunakan *Reed-Solomon (RS)* dan pengkodean dalam menggunakan pengkodean konvolusi. Proses FEC pada WiMAX 802.16d dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Proses FEC WiMAX 802.16d

Sumber: IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Oktober 2004

- Reed-Solomon Encoder

Pengkodean Reed-Solomon (RS) berguna untuk pengoreksian data saat dilakukan transmisi data. Sesuai standar IEEE 802.16d, teknik pengkodean ini ditentukan dari kode sistematik RS ($N=255, K=239, T=8$) dengan menggunakan Galois Field $GF(2^8)$, dengan

N merupakan jumlah seluruh *byte* yang telah dikodekan,

K merupakan jumlah *byte* data sebelum dikodekan,

T merupakan jumlah *byte* data yang akan dikoreksi.

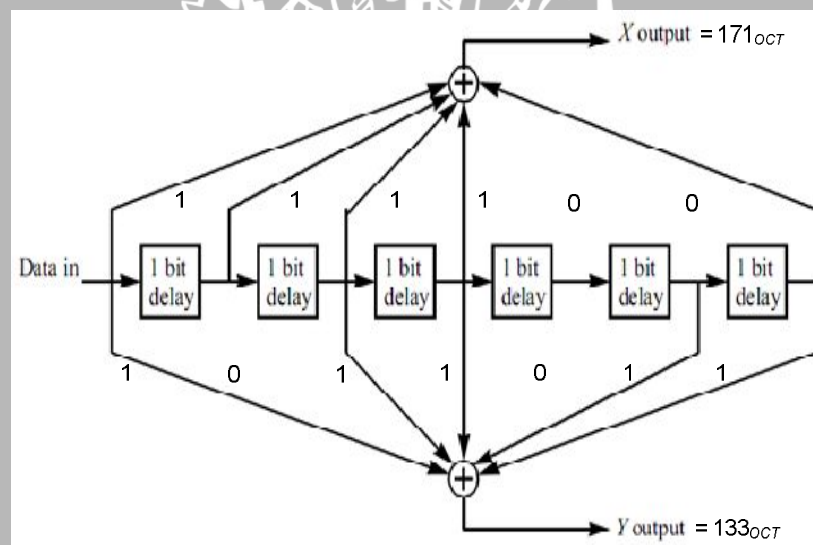
- *Convolutional Code*

Convolutional code (CC) digunakan untuk pengkodean dalam (*inner code*). Setelah proses pengkodean RS, data bit dikodekan oleh *binary convolutional encoder*. Pengkodean konvolusi ini mempunyai *rate* awal 1/2 dengan panjang bit sebesar 7, maka untuk menentukan dua bit keluaran, digunakan generator polinomial sebagai berikut

$$G_1 = 171_{OCT} \text{ untuk } X, \text{ dan} \quad (2-1)$$

$$G_2 = 133_{OCT} \text{ untuk } Y$$

Adapun pada Gambar 2.11 digambarkan tentang pengkodean konvolusi dengan *rate* 1/2.



Gambar 2.11 Pengkodean konvolusi dengan *rate* 1/2

Sumber: *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*, Oktober 2004 : 433

Pada pengkodean konvolusi terdapat proses *puncturing*, proses ini merupakan proses menghapus bit dari aliran keluaran suatu *encoder* dengan kecepatan rendah dalam rangka mengurangi jumlah data untuk ditransmisikan, sehingga membentuk kode dengan kecepatan tinggi. Proses *puncturing* digunakan untuk menghasilkan kecepatan pengkodean yang berbeda, adapun pengkodean konvolusi dengan proses *puncturing* dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Konfigurasi Pengkodean Konvolusi dengan *Puncturing*

	Kode Rate			
Rate	1/2	2/3	3/4	5/6
X	1	10	101	10101
Y	1	11	110	11010
XY	X_1Y_1	$X_1Y_1Y_2$	$X_1Y_1Y_2X_3$	$X_1Y_1Y_2X_3Y_4X_5$

Sumber: *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*, Oktober 2004:433

Pada Tabel 2.3, “1” menyatakan bit ditransmisikan dan “0” menyatakan penghapusan bit, sedangkan X dan Y merupakan keluaran dari pengkodean konvolusi.

Hubungan antara Reed-Solomon dengan pengkodean konvolusi berdasarkan modulasi yang digunakan pada WiMAX 802.16d dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Pengkodean Kanal Tiap Modulasi

Teknik Modulasi	Ukuran blok sebelum dikodekan (byte)	Ukuran blok setelah dikodekan (byte)	Keseluruhan kecepatan pengkodean	Kode RS (N, K, T)	Kecepatan kode CC
BPSK	12	24	1/2	(12,12,0)	1/2
QPSK	24	48	1/2	(32,24,4)	2/3
QPSK	36	48	3/4	(40,36,2)	5/6
16-QAM	48	96	1/2	(64,48,8)	2/3
16-QAM	72	96	3/4	(80,72,4)	5/6
64-QAM	96	144	2/3	(108,96,6)	3/4
64-QAM	108	144	3/4	(120,108,6)	5/6

Sumber: *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*, Oktober 2004:434

c. Interleaver

Interleaver digunakan untuk meningkatkan efisiensi FEC dengan cara penyebaran *burst error*, sehingga *burst error* terdapat pada tiap simbol yang mengalami *error*. Hasil dari proses ini adalah tiap *error* yang ada mudah untuk dikoreksi.

Semua data yang telah dikodekan akan mengalami proses *interleaving* oleh blok *Interleaver* dengan ukuran bloknnya disesuaikan dengan banyaknya bit kode per *sub*-kanal yang disediakan untuk tiap simbol OFDM. Terdapat 2 tahap permutasi dalam *Interleaver*. Tahap pertama memastikan bit kode yang berdekatan dipetakan menjadi *Subcarrier* yang tidak berdekatan. Tahap kedua, bit kode yang berdekatan dipetakan ke kurang atau lebih bit signifikan secara bergantian pada konstelasi.

Tahap pertama permutasi dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut ini:

$$m_k = \left(\frac{N_{cbps}}{12} \right) \cdot k_{\text{mod}(12)} + \text{floor} \left(\frac{k}{12} \right) \quad k = 0, 1, \dots, N_{cbps} - 1 \quad (2-2)$$

Tahap kedua permutasi dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut ini:

$$j_k = s \cdot \text{floor} \left(\frac{m_k}{s} \right) + [m_k + N_{cbps} - \text{floor} \left(\frac{12 \cdot m_k}{N_{cbps}} \right)]_{\text{mod}(s)} \quad k = 0, 1, \dots, N_{cbps} - 1 \quad (2-3)$$

Dengan,

m_k = indeks bit yang dikodekan setelah tahap pertama permutasi

N_{cbps} = jumlah bit yang dikodekan per *subchannel*.

k = indeks bit yang dikodekan sebelum tahap permutasi yang pertama

= 0, 1, ..., $N_{cbps} - 1$

j_k = indeks bit setelah tahap kedua permutasi

s = $\text{Ceil}(N_{cbps}/2)$

N_{cbps} = jumlah bit yang dikodekan per *Subcarrier*

Floor (x) merupakan operator dalam untuk mendapatkan nilai integer yang bernilai kurang atau sama dengan nilai x.

Tabel 2.5 menunjukkan ukuran blok *Interleaver* berdasarkan jumlah kanal dan teknik modulasi yang digunakan.

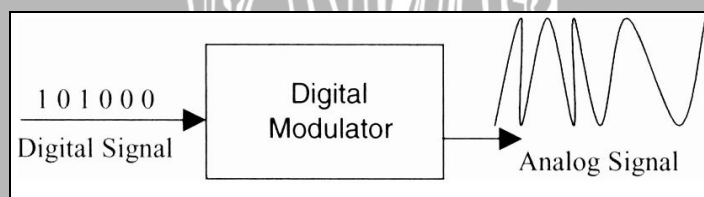
Tabel 2.5 Ukuran Blok *Interleaver*

	(Default) 16 sub-channels	8 sub-channels	4 sub-channels	2 sub-channels	1 sub-channels
	N_{cbps}				
BPSK	192	96	48	24	12
QPSK	384	192	96	48	24
16-QAM	768	384	192	96	48
64-QAM	1152	576	288	144	72

Sumber: *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Oktober 2004:441*

d. Mapper / Modulator

Setelah *bit interleaving*, maka data bit akan masuk ke *mapper* secara serial. *Modulator* yang digunakan pada lapisan fisik WiMAX adalah *modulator* digital. Proses yang dilakukan pada *modulator* ini adalah proses modulasi digital. Modulasi digital merupakan proses memodulasi sinyal pembawa (sinyal *carrier*) dengan menumpangkan sinyal informasi (digital) ke sinyal pembawa, sehingga dihasilkan sinyal analog yang berubah karakteristiknya sesuai dengan sinyal digital. Dalam hal ini sinyal digital merupakan data yang berupa deretan bit yang kontinu. Adapun proses modulasi digital dapat dilihat pada Gambar 2.12



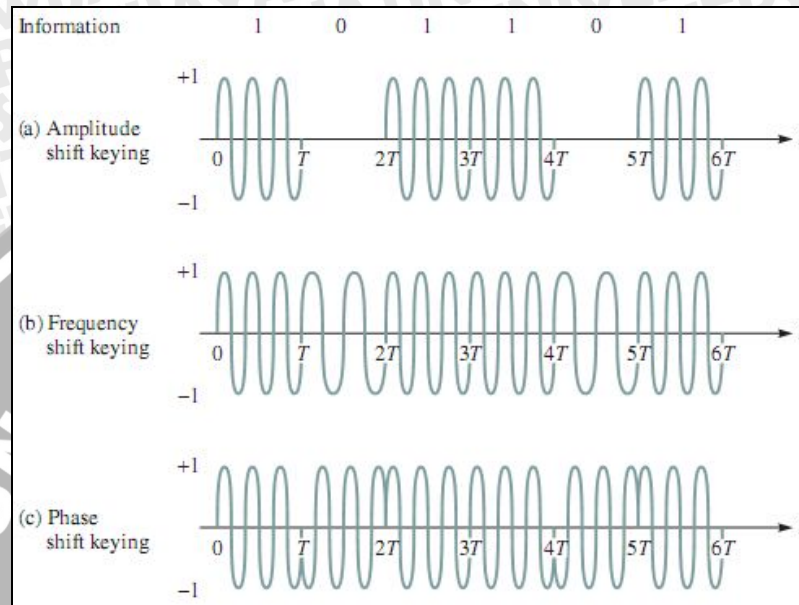
Gambar 2.12 Modulator Digital

Sumber : Loutfi Nuaymi, 2007

Pada modulasi digital terdapat berbagai macam keuntungan dari menggunakan modulasi digital adalah lebih tahan terhadap *noise*, dapat menerapkan *coding* algoritma, dll.



Modulasi digital memiliki berbagai macam teknik modulasi yang dapat digunakan. Banyaknya teknik modulasi ini didasarkan oleh karakteristik dari sinyal sinusoida sebagai sinyal *carrier*, yakni frekuensi, amplitudo dan fasa, atau kombinasi dari karakteristik tersebut. Adapun dasar teknik modulasi digital dapat dilihat pada Gambar 2.13



Gambar 2.13 Dasar Teknik Modulasi Digital

Sumber : Alberto Leon-Garcia & Indra Widjaja, 2001: 126

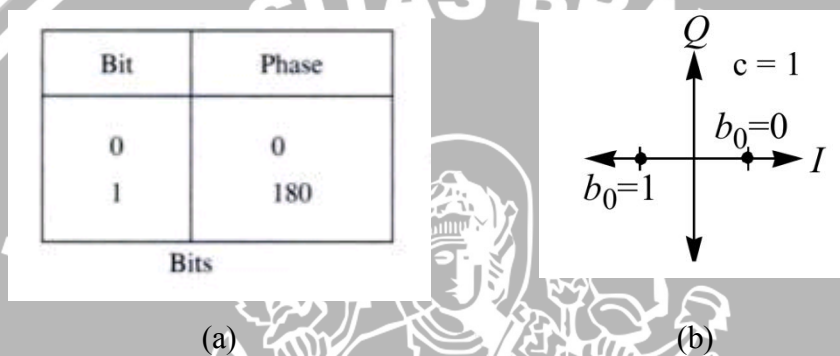
Standar modulasi digital yang digunakan dalam standar WiMAX adalah BPSK, QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Pemetaan kode menggunakan metode *Gray coding*, sehingga poin pemetaan yang berdampingan memiliki satu bit perbedaan. Pada WiMAX 802.16d *Constellation* direpresentasikan dengan *complex in-phase* dan *quardature-phase*, yakni dalam bidang IQ. Untuk mendapatkan persamaan daya rata-rata tiap simbol, maka setiap simbol dalam *Constellation* akan dikalikan dengan faktor c . Adapun penjelasan dari masing-masing modulasi digital, sebagai berikut

1. *Phase Shift Keying (PSK)*

Phase Shift Keying (PSK) merupakan teknik modulasi digital yang fasa sinyal pembawanya berubah sesuai dengan sinyal informasi (digital) setelah mengalami proses modulasi. Macam teknik modulasi PSK yang digunakan pada WiMAX 802.16d adalah BPSK dan QPSK

a. *Binary Phase Shift Keying (BPSK)*

BPSK merupakan salah satu teknik PSK (*phase shift keying*) yang paling sederhana, karena hanya menggunakan dua simbol sinyal yaitu simbol sinyal dengan beda fasa 180° , dan sebuah simbol sinyal tersebut mewakili sebuah bit data. Teknik modulasi ini mempunyai keunggulan tahan terhadap *noise* dan interferensi sinyal lain, tetapi kecepatan transmisi datanya rendah. Teknik ini juga dikenal dengan teknik 2-PSK. Pada Gambar 2.14(a) dijelaskan contoh hubungan antara bit dengan fasa, sedangkan pada Gambar 2.14(b) dijelaskan tentang *Constellation* atau phase state diagram dengan metode *Gray coding*. Faktor pengali pada *modulator* BPSK sebesar 1 ($c = 1$).

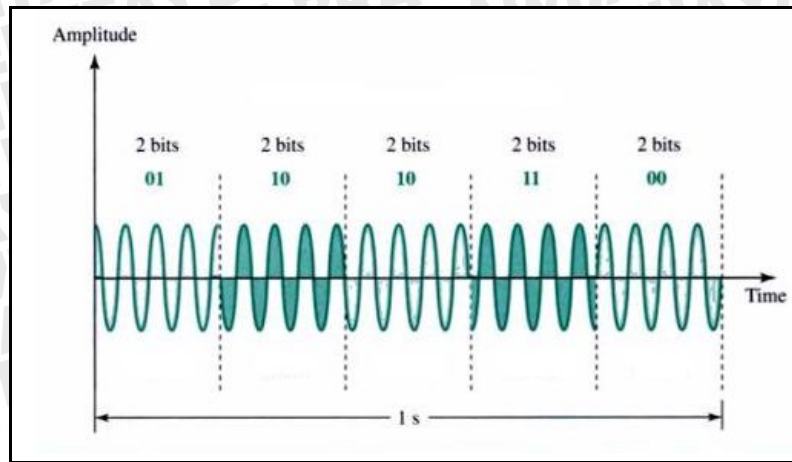


Gambar 2.14 (a) Hubungan bit dan fasa pada modulasi BPSK, (b) *Constellation* Modulasi BPSK

Sumber: *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*, Oktober 2004:442

b. *Quardature Phase Shift Keying* (QPSK)

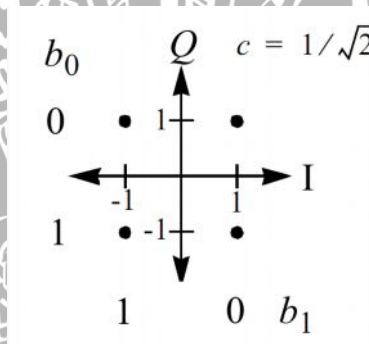
Modulasi QPSK merupakan salah satu teknik modulasi digital dengan menggunakan sebuah simbol sinyal untuk mewakili dua bit data. Keunggulan dari teknik modulasi digital ini bila dibandingkan dengan teknik modulasi BPSK adalah lebih efisien dalam penggunaan spectrum frekuensi, lebih cepat dalam kecepatan transmisi bit data, yakni dua kali bit *rate* dari BPSK. Tetapi kekurangannya adalah kurang tahan *noise* dan interferensi dari sinyal lain bila diban dingkan dengan teknik modulasi BPSK. Konsep dari modulasi QPSK dapat dilihat pada Gambar 2.15



Gambar 2.15 Sinyal Termodulasi QPSK

Sumber : Behrouz A. Forouzan, 2000

Adapun diagram *Constellation modulator* QPSK berdasarkan metode Gray coding dapat dilihat pada Gambar 2.16. Pada *modulator* QPSK, faktor pengali sebesar $1/\sqrt{2}$.



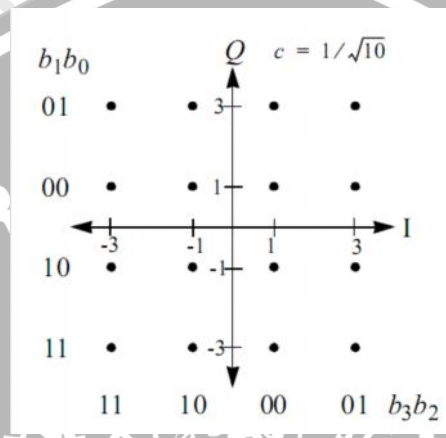
Gambar 2.16 QPSK Constellation

Sumber: IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Oktober 2004:442

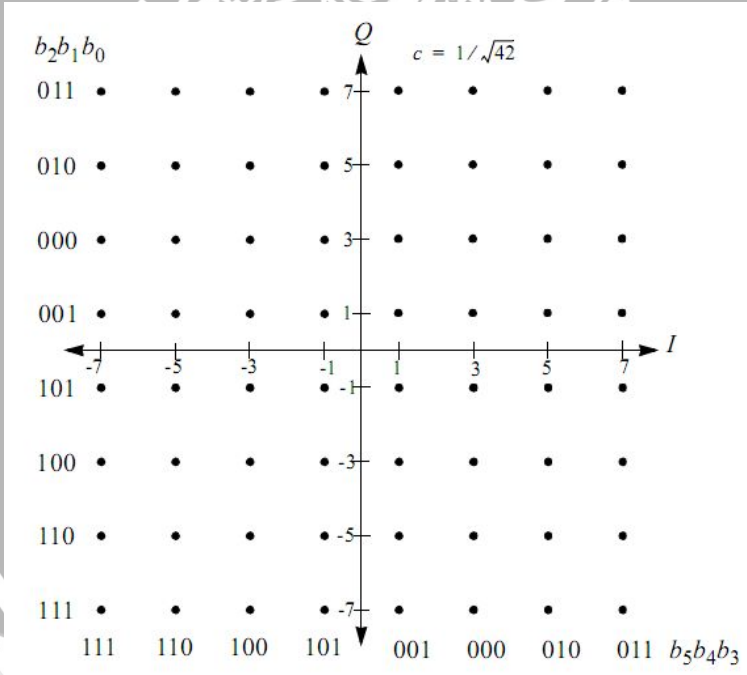
2. *Quardature Ampltude Modulation* (QAM)

Quardature Amplitude Modulation (QAM) merupakan teknik modulasi digital yang merupakan perpaduan dari teknik ASK dan PSK. Berarti pada QAM, amplitudo dan *phase* sinyal *carrier* berubah terhadap perubahan amplitudo sinyal informasi. Sehingga, sinyal direpresentasikan dalam besaran amplitudo dan pergeseran *phase*. Dan dikatakan *quadrature* karena jumlah minimum bit pada tiap simbolnya adalah 2 bit. Sehingga pada QAM dikenal teknik 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM, dan 256-QAM tergantung banyaknya jumlah bit dalam 1 simbol.

Pada standar WiMAX modulasi yang digunakan adalah 16-QAM dan 64-QAM. Pada 16-QAM setiap simbol mewakili 4 bit data dengan faktor pengali setiap simbol sebesar $1/\sqrt{10}$ seperti pada Gambar 2.17 (a). Sedangkan 64-QAM setiap simbol sinyal mewakili 6 bit data dengan faktor pengali setiap simbol sebesar $1/\sqrt{42}$, seperti terlihat pada Gambar 2.17 (b)



(a)



(b)

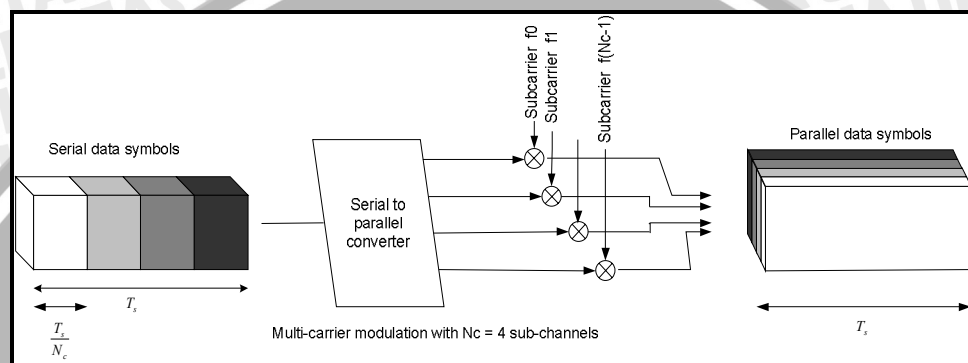
Gambar 2.17 (a) 16-QAM Constellation, (b) 64-QAM Constellation

Sumber: IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Oktober 2004:442



e. Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

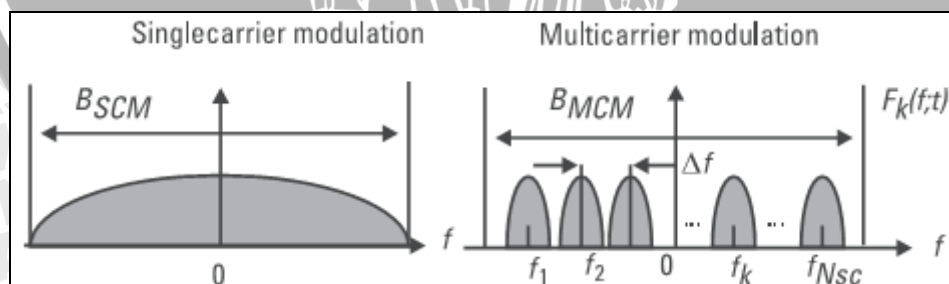
Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) merupakan salah satu metode modulasi digital *multicarrier* yang prinsip kerja dari OFDM adalah membagi sebuah M laju data yang tinggi (*Single high-rate bit stream*) menjadi N bit laju data rendah yang dimodulasikan secara paralel seperti yang terlihat pada Gambar 2.18. Dan setiap bit data paralel akan dimodulasikan pada sebuah *Subcarrier* yang frekuensinya bersifat *orthogonal* antara satu dengan yang lain.



Gambar 2.18 Prinsip modulasi *multicarrier* ($N_c = 4$ Subcarrier)

Sumber: K. Fazel & S. Kaiser, 2003: 25

Pada Gambar 2.19 menggambarkan tentang perbandingan antara *single carrier modulation* (SCM) dengan *multicarrier modulation* (MCM). B_{SCM} merupakan *bandwidth* sinyal yang ditransmisikan dengan menggunakan *single carrier modulation*, sedangkan B_{MCM} merupakan *bandwidth* sinyal yang ditransmisikan dengan menggunakan *multicarrier modulation*.



Gambar 2.19 Perbandingan Antara MCM dan SCM

Sumber : Shinsuke Hara & Ramjee Prasad, 2003:28

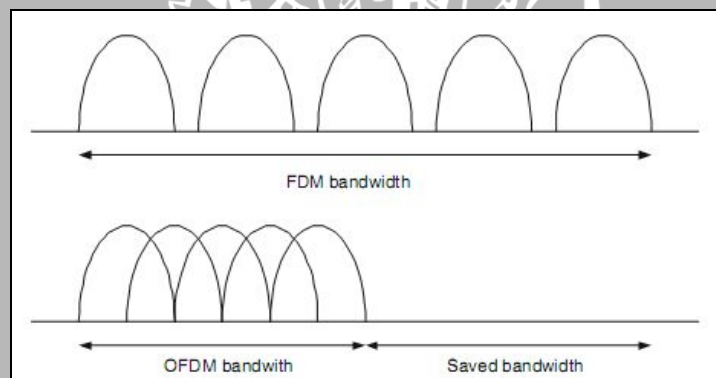
Pada MCM terdapat sejumlah frekuensi *Subcarrier* yang dinotasikan f_k , dengan k merupakan banyaknya *Subcarrier* yang digunakan. Sedangkan Δf merupakan selisih

dari frekuensi *subscriber* yang bersebelahan. Adapun spectrum frekuensi dari MCM dapat ditulis sebagai berikut

$$S_{MCM}(f;t) = \sum_{k=1}^{N_{SC}} f_k(f;t) \quad (2-4)$$

Teknik *multicarrier* ini dimaksudkan agar permasalahan *intersymbol interference* (ISI) dalam transmisi data dengan kecepatan tinggi.

Teknik OFDM merupakan pengembangan dari teknik *frequency division multiplexing* (FDM). Pada teknologi OFDM, sinyalnya bersifat *orthogonal*, yakni setiap sinyal yang ditransmisikan tidak saling mempengaruhi atau tidak menginterferensi satu sama lain walaupun terjadi *overlapping* antara sinyal *carrier* yang bersebelahan. Dengan demikian akan menghilangkan adanya *guard band*, sehingga penggunaan *bandwidth* lebih efisien. Adapun perbandingan antara FDM dengan OFDM dapat dilihat pada Gambar 2.20



Gambar 2.20 Perbandingan FDM dengan OFDM

Sumber : Mustafa Ergen, 2009:110

Pada *Transmitter* pembangkitan sinyal OFDM dilakukan dengan menggunakan teknik IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*), yakni dengan mengubah grup simbol data dalam domain frekuensi ke domain waktu. Sedangkan pada bagian *receiver*, berlaku proses sebaliknya, yakni dengan mengubah domain waktu menjadi domain frekuensi, dan teknik yang digunakan adalah teknik FFT (*Fast Fourier Transform*).

Untuk mengatasi ISI (*Intersymbol Interference*) pada sinyal OFDM, maka dilakukan penambahan suatu *guard band* pada setiap awal simbol OFDM. *Guard band* tersebut dinamakan *Cyclic prefix*. *Cyclic prefix* (CP) merupakan salinan dari bagian akhir dari sebuah simbol OFDM, seperti terlihat pada Gambar 2.21. Pada *transmitter*,

setiap simbol OFDM yang akan ditransmisikan akan ditambahkan dengan *Cyclic prefix*. Kemudian pada bagian *receiver*, sebelum sinyal didemodulasi *Cyclic prefix* akan dihilangkan terlebih dahulu. Sehingga dapat ditulis panjang total dari sebuah simbol OFDM adalah

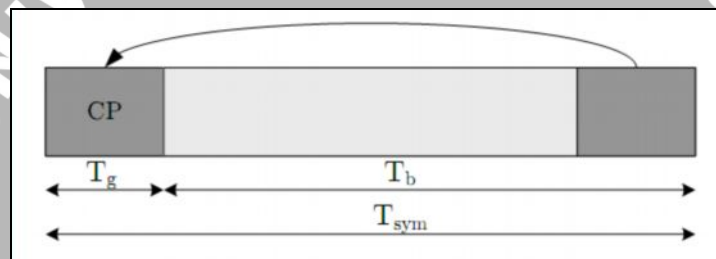
$$T_{\text{sym}} = T_g + T_b \tag{2-5}$$

dengan,

T_{sym} merupakan ukuran total dari sebuah simbol OFDM dalam satuan waktu,

T_g merupakan ukuran *Cyclic prefix* dalam satuan waktu,

T_b merupakan ukuran dari IFFT yang digunakan untuk membangkitkan sinyal OFDM.

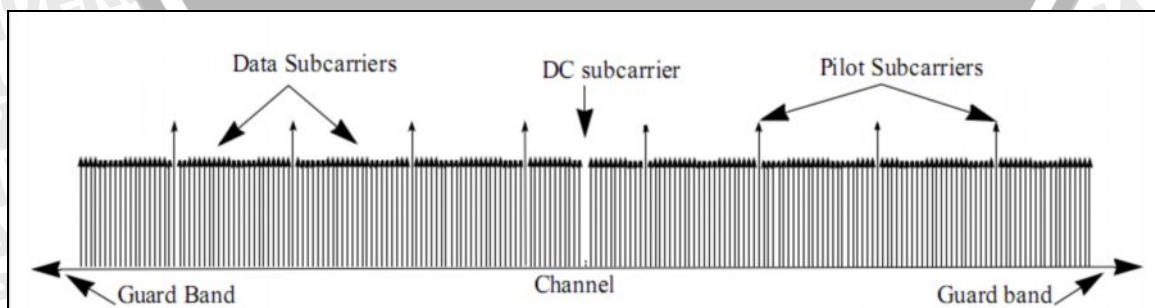


Gambar 2.21 Penambahan *Cyclic prefix* pada Sinyal OFDM

Sumber : *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Oktober 2004:427*

Sebuah simbol OFDM tersusun atas banyaknya jumlah *carrier* yang digunakan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.22. Adapun Simbol OFDM dibentuk dari :

- *Data Subcarriers*, digunakan untuk tranmisi data,
- *Pilot Subcarriers*, digunakan untuk *channel estimation* dan sinkronisasi,
- *Null Subcarriers*, digunakan untuk *band guard* dan *DC Subcarriers*.



Gambar 2.22 Simbol OFDM

Sumber: *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Oktober 2004:428*

Pada standar WiMAX 802.16d ditentukan dua parameter OFDM, yang pertama adalah parameter dasar yang tergantung pada pengguna atau ketersediaan sistem, dan yang kedua adalah parameter-parameter lain yang tergantung pada parameter dasar tersebut. Adapun parameter dasar dari OFDM adalah

- *Bandwidth* (BW) kanal
- Jumlah *Subcarrier* yang digunakan (N_{used})

$$N_{used} = N_{data} + N_{pilot} \quad (2-6)$$

- *Sampling factor* (n),
- Rasio *Cyclic prefix* (G)

Adapun parameter-parameter lain adalah

- N_{FFT} , merupakan besar nilai FFT yang digunakan untuk membangkitkan sinyal OFDM dan nilainya lebih besar dari N_{used}
- Frekuensi *sampling* (F_s)

$$F_s = \text{floor} \left[\frac{n \times BW}{8000} \right] \times 8000 \text{ Hz} \quad (2-7)$$

misalnya, *Floor* (A) menyatakan bilangan integer yang bernilai kurang atau sama dengan nilai A .

- *Subcarrier spacing* (Δf)

$$\Delta f = \frac{F_s}{N_{FFT}} \text{ Hz} \quad (2-8)$$

- Waktu simbol yang digunakan (T_b)

$$T_b = \frac{1}{\Delta f} \text{ s} \quad (2-9)$$

- Waktu CP (T_g)

$$T_g = G \times T_b \text{ s} \quad (2-10)$$

- Waktu simbol OFDM

$$T_{sym} = T_b + T_g \text{ s} \quad (2-11)$$

- Waktu *sampling*

$$T_s = \frac{T_b}{N_{FFT}} \quad s \quad (2-12)$$

Adapun standar OFDM yang digunakan pada WiMAX 802.16d dapat dilihat pada Tabel 2.6

Tabel 2.6 Parameter simbol OFDM

Parameter	Value
N_{FFT}	256
N_{used}	200
N_{data}	192
N_{pilot}	8
n	<ol style="list-style-type: none"> 1. For channel bandwidths multiple of 1.75 MHz, $n = 8/7$ 2. For channel bandwidths multiple of 1.5 MHz, $n = 86/75$ 3. For channel bandwidths multiple of 1.25 MHz, $n = 144/125$ 4. For channel bandwidths multiple of 2.75 MHz, $n = 316/275$ 5. For channel bandwidths multiple of 2.0 MHz, $n = 57/50$ 6. For channel bandwidths not otherwise specified, $n = 8/7$
G	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Number of lower frequency guard Subcarrier	28
Number of higher frequency guard Subcarrier	27
Frequency offset indices of guard Subcarriers	-128,-127, ..., -101 +101,+102, ..., +127
Frequency offset indices of pilot carriers	-88,-63,-38,-13 +13,+38,+63,+88



Sumber : *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Oktober 2004:429*



2.2.5.2 Preamble

Dalam sistem WiMAX, *preamble* pada DL maupun UL disusun berdasarkan *training sequence*. Terdapat 3 tipe *training sequence* yang telah ditetapkan, tiga tersebut diperoleh dari *sequence* yang sama dalam *domain* frekuensi. *Sequence* ini, memiliki 201 *Subcarrier* yang diberi nama P_{ALL} .

Untuk transmisi DL, *preamble* pertama digunakan sebagai *initial ranging preamble* yang terdiri atas dua simbol OFDM yang berurutan. Simbol pertama adalah *preamble* P_{4x64} , yang hanya menggunakan *Subcarrier* dari P_{ALL} yang memiliki kelipatan 4, selain itu $P_{4x64} = 0$ dan *preamble* ini digunakan untuk sinkronisasi. Akibatnya dalam *domain* waktu P_{4x64} tersusun atas 64 *sample fragment*. Persamaan berikut ini menunjukkan *sequence domain* frekuensi untuk *downlink preamble* yang pertama:

$$P_{4x64}(k) = \begin{cases} \sqrt{2}\sqrt{2} \cdot \text{conj}(P_{ALL}(k)) & k_{\text{mod}4} = 0 \\ 0 & k_{\text{mod}4} \neq 0 \end{cases} \quad (2-13)$$

Simbol kedua adalah (P_{EVEN}) yang diperlukan oleh *receiver* untuk estimasi kanal. P_{EVEN} hanya menggunakan *Subcarrier* yang bernilai genap dari P_{ALL} . Dalam *domain* waktu P_{EVEN} tersusun atas 128 *sample fragment*, P_{EVEN} disebut juga P_{SHORT} . Persamaan berikut ini menunjukkan *sequence domain* frekuensi untuk P_{EVEN} .

$$P_{EVEN}(k) = \begin{cases} \sqrt{2} \cdot \text{conj}(P_{ALL}(k)) & k_{\text{mod}2} = 0 \\ 0 & k_{\text{mod}2} \neq 0 \end{cases} \quad (2-14)$$

Metode *training sequence* yang lain akan digunakan ketika transmisi DL menggunakan metode *Space-Time Code* (STC), hal ini dikarenakan pada STC jumlah antenna yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal sebanyak 2 buah. *Preamble* ditransmisikan oleh 2 antenna tersebut secara simultan. Antena pertama mentransmisikan *preamble* menggunakan P_{EVEN} sedangkan antenna kedua menggunakan P_{ODD} .

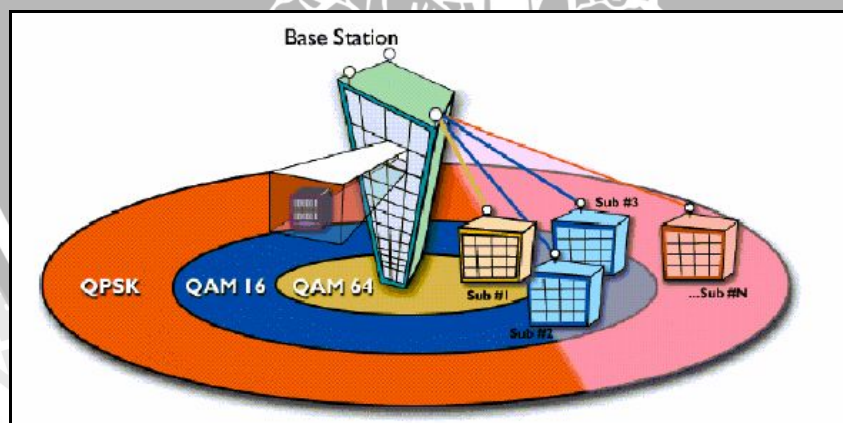
$$P_{ODD}(k) = \begin{cases} 0 & k_{\text{mod}2} = 0 \\ \sqrt{2} \cdot \text{conj}(P_{ALL}(k)) & k_{\text{mod}2} \neq 0 \end{cases} \quad (2-15)$$

2.2.5.3 Adaptive Modulation and Coding (AMC)

Adaptive Modulation and Coding (AMC) merupakan teknik yang digunakan dalam sistem komunikasi, untuk meningkatkan efisiensi dari suatu komunikasi *wireless*, yakni dengan menerapkan skema modulasi adaptif dan pengkodean FEC yang adaptif yang tergantung pada kondisi kanal propagasi.

Dasar teknik AMC ini adalah mengirimkan data dengan *data rate* yang tinggi saat kondisi kanal bagus, dan sebaliknya mengirimkan data dengan *data rate* yang rendah saat kondisi kanal jelek. Seperti yang diketahui bahwa modulasi yang memiliki *data rate* yang tinggi, sangat rentan pada *noise* maupun interferensi dari sinyal lain, tetapi sebaliknya, modulasi yang memiliki *data rate* yang rendah, sangat tahan terhadap *noise* maupun interferensi.

Pada sistem komunikasi WiMAX 802.16d, teknik ini juga diterapkan untuk meningkatkan efisiensi dari sistem komunikasi tersebut. Parameter SNR sinyal yang diterima oleh *receiver* menjadi umpan balik ke *transmitter* mengenai kondisi kanal propagasi. Adapun ilustrasi dari penggunaan teknik AMC dapat dilihat pada Gambar 2.23, terlihat bahwa nilai SNR dapat dikatakan berbanding terbalik dengan jarak *transmitter* dan *receiver*. Jadi semakin jauh *receiver* terhadap *transmitter*, maka semakin kecil SNR. Oleh karena itu, semakin dekat *receiver*, maka kemungkinan modulasi yang digunakan mempunyai *data rate* yang tinggi.



Gambar 2.23 Skema Penggunaan Teknik AMC

Sumber : Amalia Roca, Februari 2007: 67

2.2.5.4 Aplikasi WiMAX 802.16d

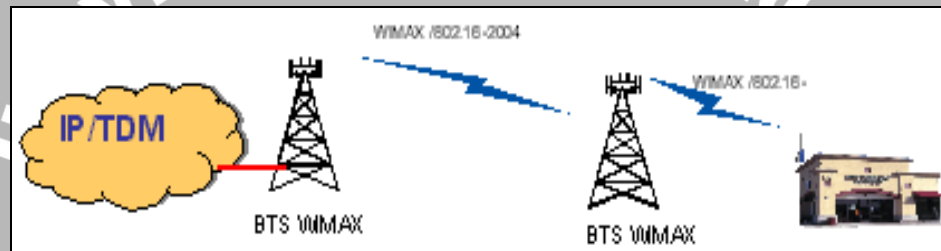
Berbagai keunggulan teknologi WiMAX, menjadikan teknologi ini sebagai solusi dari era teknologi *broadband*. Teknologi WiMAX standar 802.16d dapat diaplikasikan pada

a. Aplikasi *Backhaul*

Untuk aplikasi *Backhaul*, WiMAX dimanfaatkan untuk *Backhaul* WiMAX itu sendiri, *Backhaul* Hotspot dan *Backhaul* teknologi lain.

• *Backhaul* WiMAX

Dalam konteks WiMAX sebagai *Backhaul* dari WiMAX aplikasinya mirip dengan fungsi BTS sebagai repeater. Tujuannya untuk memperluas jangkauan dari WiMAX. Adapun konfigurasi dari aplikasi ini dapat dilihat pada Gambar 2.24

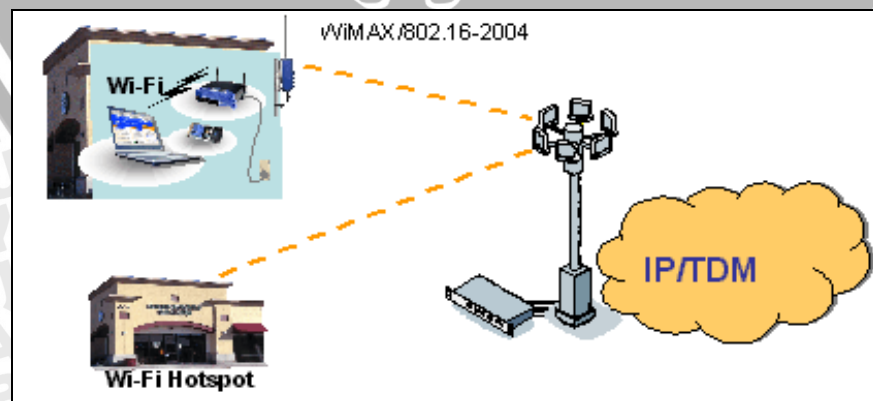


Gambar 2.24 WiMAX sebagai *Backhaul* WiMAX

Sumber : www.ristinet.com

• *Backhaul* Hotspot

Pada aplikasi ini, WiMAX merupakan solusi dari keterbatasan jaringan kabel yang umumnya digunakan pada teknologi ADSL yang biasanya digunakan sebagai *Backhaul* hotspot. Adapun konfigurasi dari aplikasi ini dapat dilihat pada Gambar 2.25

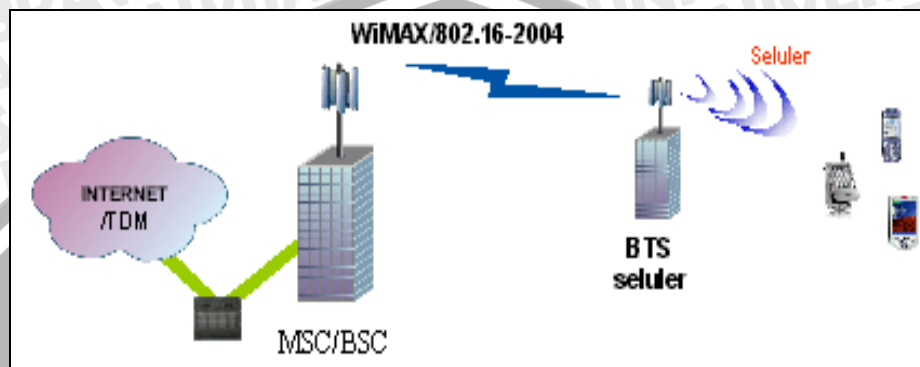


Gambar 2.25 WiMAX sebagai *Backhaul* Hotspot

Sumber : www.ristinet.com

• **Backhaul Teknologi Lain**

Teknologi WiMAX juga dapat diaplikasikan menjadi *Backhaul* dengan teknologi lain, seperti sebagai *Backhaul* pada teknologi seluler. Pada Gambar 2.26 terlihat bahwa teknologi WiMAX menghubungkan MSC/BSC ke BTS seluler.

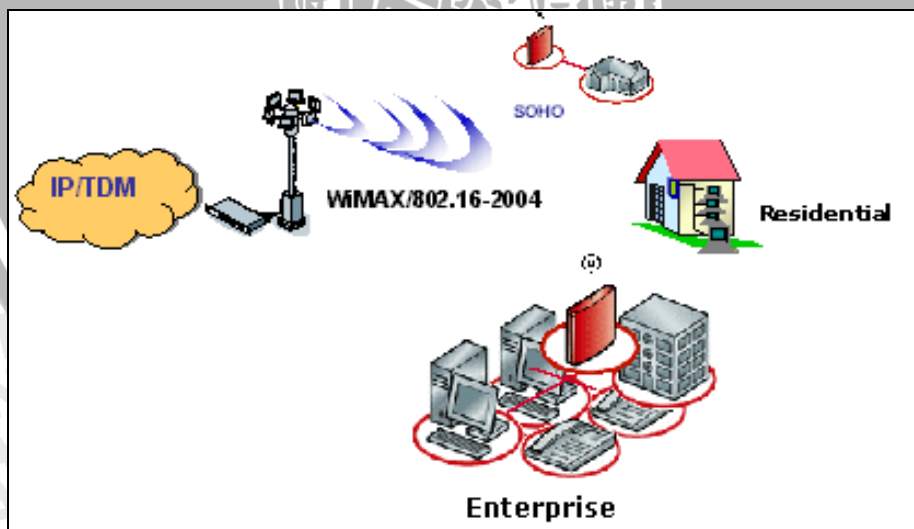


Gambar 2.26 WiMAX sebagai *Backhaul* Seluler

Sumber : www.ristinet.com

b. **Akses *broadband***

Teknologi WiMAX dapat diaplikasikan untuk melayani kebutuhan *broadband* bagi pelanggan, baik pelanggan perumahan maupun perusahaan. Adapun aplikasi ini dapat dilihat pada Gambar 2.27

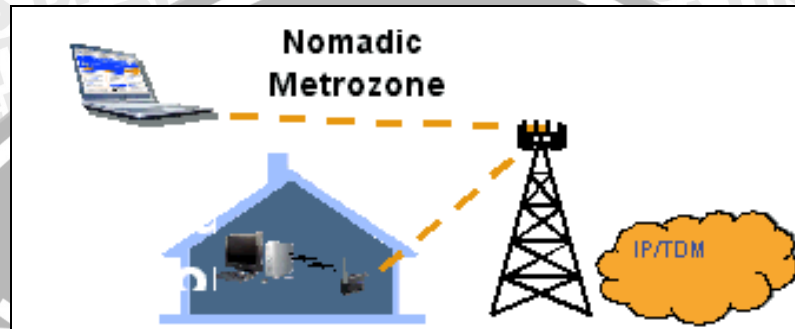


Gambar 2.27 WiMAX Sebagai Aplikasi Akses *Broadband*

Sumber : www.ristinet.com

c. *Personal broadband*

Teknologi WiMAX sebagai penyedia layanan *personal broadband* dibagi menjadi dua berdasarkan tingkat perpindahan dari pengguna, yaitu *nomadic* dan *mobile*. Adapun untuk WiMAX standar 802.16d merupakan teknologi WiMAX yang hanya bisa melayani *personal broadband* yang bersifat *nomadic* dengan tingkat perpindahan dari pengguna tidak sering dan kecepatannya rendah dan tidak melakukan *handover*. Adapun aplikasi ini dapat dilihat pada Gambar 2.28



Gambar 2.28 WiMAX Untuk Aplikasi *Personal Broadband*

Sumber : www.ristinet.com

2.3 Teknik Diversitas

Pada sistem komunikasi *wireless*, masalah *multipath fading* sangatlah mempengaruhi performansi dari sebuah sistem, karena tingkat akurasi dari informasi sangatlah kecil. Berbagai macam teknik yang digunakan dalam meningkatkan performansi sistem komunikasi *wireless*, salah satunya adalah menggunakan teknik diversitas.

Teknik diversitas merupakan suatu teknik yang digunakan untuk mengatasi masalah *multipath fading* dengan menggunakan dua atau lebih sinyal yang tidak mempengaruhi satu sama lain. Dengan teknik diversitas inilah tingkat akurasi dari informasi dapat ditingkatkan.

Adapun macam dari teknik diversitas antara lain adalah *frequency diversity*, *time diversity* dan *space diversity*. Adapun penjelasan dari masing-masing teknik diversitas adalah sebagai berikut :

a. *Frequency diversity*

Frequency diversity merupakan teknik diversitas yang menggunakan beberapa frekuensi yang berbeda saat transmisi, sehingga dibutuhkan alokasi frekuensi yang berguna sebagai pemisah sinyal.

b. *Time diversity*

Merupakan teknik diversitas yang mentransmisikan sinyal yang sama pada waktu yang berbeda. Teknik yang digunakan dalam teknik diversitas ini adalah coding, interleaving dan modulasi adaptif.

c. *Space diversity*

Space diversity ini juga dikenal sebagai *antenna diversity*. Teknik ini merupakan teknik diversitas yang menggunakan lebih dari satu antena secara bersamaan untuk mengirimkan sinyal atau menerima sinyal. Secara fisik, setiap antena mempunyai jarak tertentu sehingga sinyal yang ditransmisikan tidak berkorelasi satu sama lain.

Adapun contoh dari teknik diversitas ini, yaitu *polarization diversity* dan *angle diversity*. *Polarization diversity* diimplementasikan menggunakan antena yang mentransmisikan sinyal yang mempunyai polarisasi yang berbeda, yakni horizontal dan vertikal.

Berdasarkan antena yang digunakan untuk mengirim sinyal dan menerima sinyal, maka teknik diversitas ini dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu *transmit diversity* dan *receive diversity*. Pada *receive diversity*, *multiple* antena digunakan pada sebuah *receiver* untuk menerima sejumlah sinyal independen. Sedangkan *transmit diversity*, *multiple* antena digunakan pada sebuah *transmitter*.

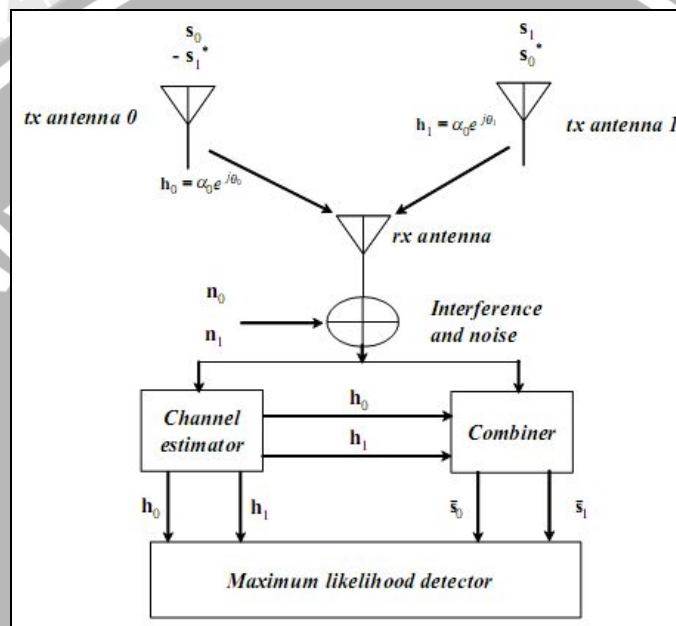
2.3.1 *Space-Time Block Code (STBC)*

Space-Time Block Code merupakan gabungan antara *space diversity* dan *time diversity*. Teknik ini mentransmisikan sejumlah replika sinyal informasi pada sejumlah antena sehingga dapat meningkatkan keakuratan transfer data antara *transmitter* dan *receiver*. Hal ini dikarenakan pada *receiver* dimungkinkan diterima sinyal yang memiliki kondisi yang bagus untuk dilakukan pemrosesan sinyal selanjutnya.

Teknik *diversity* ini mempunyai beberapa metode dalam implementasinya, yaitu Metode Alamouti, metode Tarokh dan metode *Quasi-orthogonal*. Ketiga metode tersebut mempunyai spesifikasi dan keunggulan masing-masing, tetapi dalam skripsi ini sebatas menjelaskan tentang Metode Alamouti.

2.3.2.1 Metode Alamouti

Metode Alamouti merupakan salah satu metode yang digunakan dalam teknik STBC yang paling sederhana dan paling populer dari metode lainnya. Metode ini diperkenalkan oleh Siavash Alamouti pada tahun 1998. Metode yang diperkenalkan adalah metode dengan menggunakan dua antena *transmitter* dan satu antena *receiver*. Adapun skema transmisi dua antena *transmitter* dan satu antena dapat dilihat pada Gambar 2.28, dan skema ini lebih mudah implementasinya daripada menggunakan dua antena pada *receiver*.



Gambar 2.28 Skema Transmisi dua antena *transmitter* dan satu antena *receiver*.

Sumber : Savo Glisic, 2004:69

Sinyal yang dikirimkan oleh *transmitter* disimbolkan s_0 dan s_1 , dan dikirimkan melalui dua interval waktu, yang dapat direpresentasikan dalam matriks sebagai berikut

	Antena 0	Antena 1	
Time t	$\begin{bmatrix} s_0 & s_1 \\ -s_1^* & s_0^* \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} s_1 & s_0 \\ s_0 & s_1 \end{bmatrix}$	(2-16)
Time t+T			

Tanda * merupakan operasi konjugat dari persamaan sinyal yang dimaksud.

Terlihat bahwa saat pertama kali, sinyal yang dikirimkan pada masing-masing antena adalah s_0 dan s_1 secara simultan, setelah interval tertentu kedua antena tersebut mengirimkan konjugat sinyal s_0 dan s_1 .

Dengan mengasumsikan bahwa kanal yang dilewati oleh kedua sinyal konstan, maka sinyal yang diterima oleh *receiver* dapat dinyatakan sebagai berikut

$$\mathbf{y} = \mathbf{h}\mathbf{S} + \mathbf{n} \quad (2-17)$$

Dengan $\mathbf{y} = [y_0, y_1]^T$ merupakan simbol yang merepresentasikan sinyal yang diterima oleh *receiver*, $\mathbf{h} = [h_0, h_1]^T$ merupakan representasi dari kanal, $\mathbf{n} = [n_0, n_1]^T$ merupakan representasi dari *noise*, sedangkan indeks 0 dan 1 menyatakan urutan sinyal yang diterima oleh *receiver*. dan \mathbf{S} menyatakan sinyal STBC.

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} s_0 & s_1 \\ -s_1^* & s_0^* \end{bmatrix}$$

Sehingga persamaan 2.17 dapat dinyatakan sebagai berikut

$$\begin{aligned} y_0 &= h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \\ y_1 &= -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1 \end{aligned} \quad (2-18)$$

Pada sisi *receiver*, sinyal yang diterima akan dibentuk menjadi $\mathbf{y} = [y_0, y_1]^T$, sehingga dapat ditulis sebagai berikut

$$\begin{aligned} y_0 &= h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \\ y_1^* &= h_1^* s_0 - h_0^* s_1 + n_1^* \end{aligned} \quad (2-19)$$

Persamaan 2.15 dapat ditulis dalam bentuk matriks, sehingga dengan demikian persamaan tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} y_0 \\ y_1^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_0 & h_1 \\ h_1^* & -h_0^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_0 \\ s_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_0 \\ n_1^* \end{bmatrix} \quad (2-20)$$

Dan untuk mendapatkan daya rata-rata dari sinyal, maka harus dikalikan dengan $1/\sqrt{2}$.

Jadi persamaan 2.16 dapat ditulis menjadi

$$\begin{bmatrix} y_0 \\ y_1^* \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} h_0 & h_1 \\ h_1^* & -h_0^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_0 \\ s_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_0 \\ n_1^* \end{bmatrix} \quad (2-21)$$

Estimasi sinyal yang ditransmisikan kemudian dapat dihitung dengan formula

$$\hat{s} = H_v^H y \quad (2-22)$$

Dengan $y = [y_0, y_1^*]^T$,

Herminasi matriks dari kanal virtual didefinisikan dengan sebuah matriks sebagai berikut

$$H_v^H = \begin{bmatrix} h_0^* & h_1 \\ h_1^* & -h_0^* \end{bmatrix} \quad (2-23)$$

Sehingga estimasi sinyal tersebut dapat ditulis menjadi

$$\hat{s} = H_v^H y$$

$$\begin{bmatrix} \hat{s}_0 \\ \hat{s}_1 \end{bmatrix} = H_v^H \begin{bmatrix} y_0 \\ y_1^* \end{bmatrix} \quad (2-24)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{s}_0 \\ \hat{s}_1 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} h_0^* & h_1 \\ h_1^* & -h_0^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_0 & h_1 \\ h_1^* & -h_0^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_0 \\ s_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_0^* & h_1 \\ h_1^* & -h_0^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_0 \\ n_1^* \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{s}_0 \\ \hat{s}_1 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} h_0^* h_0 + h_1 h_1^* & h_0^* h_1 - h_1 h_0^* \\ h_1^* h_0 - h_0 h_1^* & h_1^* h_1 + h_0 h_0^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_0 \\ s_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_0^* n_0 + h_1 n_1^* \\ h_1^* n_0 - h_0 n_1^* \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{s}_0 \\ \hat{s}_1 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} |h_1|^2 + |h_2|^2 & 0 \\ 0 & |h_1|^2 + |h_2|^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_0 \\ s_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_0^* n_0 + h_1 n_1^* \\ h_1^* n_0 - h_0 n_1^* \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{s}_0 \\ \hat{s}_1 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} (|h_1|^2 + |h_2|^2) \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_0 \\ s_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_0^* n_0 + h_1 n_1^* \\ h_1^* n_0 - h_0 n_1^* \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{s}_0 \\ \hat{s}_1 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} h^2 I_2 s + \tilde{n} \quad (2-25)$$

dengan,

$h^2 = |h_1|^2 + |h_2|^2$, merupakan penguatan dari kanal,

I_2 merupakan matriks identitas ,

$s = [s_0, s_1]^T$, merupakan *symbol* sinyal yang ditransmisikan,

$\tilde{n} = \begin{bmatrix} h_1^* n_0 + h_2 n_1^* \\ h_2^* n_0 - h_1 n_1^* \end{bmatrix}$, merupakan *noise* modifikasi.



2.4 Kanal *Wireless*

Pada komunikasi radio sangat diperlukan pemahaman tentang karakteristik dari media komunikasi. Hal ini dikarenakan media komunikasi tersebut mempengaruhi performansi sistem komunikasi, sehingga menentukan komponen dalam sistem komunikasi tersebut. Terdapat berbagai macam media komunikasi, yaitu kabel, serat optik, dan udara.

Media komunikasi dengan menggunakan udara merupakan media komunikasi yang paling kompleks dan paling susah bila dibandingkan dengan media komunikasi yang lain. Hal ini dikarenakan komunikasi dengan menggunakan media udara timbul berbagai fenomena dan permasalahan yang banyak dibandingkan dengan komunikasi dengan menggunakan media lain. Komunikasi dengan menggunakan media udara lebih dikenal dengan komunikasi *wireless* (tanpa kabel).

Pada komunikasi *wireless* dikenal istilah kanal propagasi, yakni media perambatan antara *transmitter* dan *receiver* dalam melakukan komunikasi. Dan kanal sendiri merupakan kata lain dari media.

Kanal propagasi pada komunikasi *wireless* sangatlah kompleks, dan bisa dikatakan paling kompleks bila dibandingkan dengan komunikasi dengan menggunakan media lainnya. Hal ini disebabkan karena banyaknya fenomena dan permasalahan yang timbul, seperti *Pathloss*, *shadowing*, *multipath*, *fading*, interferensi, pergeseran Doppler, dll.

Permasalahan dan fenomena yang terjadi pada komunikasi *wireless* berubah-ubah setiap waktu, sehingga dalam menganalisis performansi sebuah sistem komunikasi *wireless* diperlukan pemodelan kanal propagasi yang dapat menguji unjuk kerja dari sistem komunikasi tersebut.

Dalam subab selanjutnya akan dibahas permasalahan tentang kanal *wireless* dan tentang model kanal yang dapat merepresentasikan kanal komunikasi *wireless* pada kenyataannya.

2.4.1 *Pathloss*

Pathloss merupakan daya rata-rata yang diterima oleh *receiver* yang disebabkan jarak antara *transmitter* dan *receiver*. Apabila terdapat sebuah *Path* atau jalur komunikasi antara *transmitter* dan *receiver*, serta tidak ada gelombang lain yang diterima oleh *receiver* seperti gelombang pantulan dari objek, maka daya yang diterima

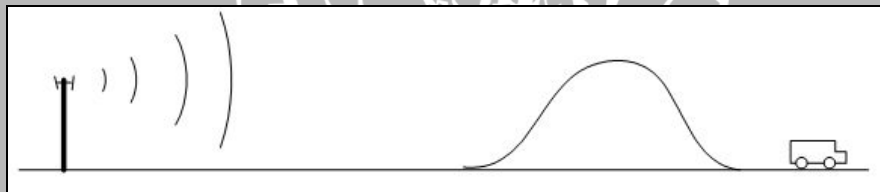
oleh *receiver* berbanding terbalik dengan kuadrat frekuensi *carrier* (f) dan jarak (d). Jika P_R merupakan daya terima, dan P_T merupakan daya pancar dari *transmitter*, maka dapat ditulis persamaan daya terima pada sebuah *receiver*

$$P_R = \frac{G \times P_T}{f^2 \times d^2} \quad (2-26)$$

dengan G merupakan *Gain* atau penguatan daya yang terjadi dari antenna *transmitter*. Dan ketika terdapat sinyal pantulan dari objek dan diterima oleh *receiver*, maka akan tidak mudah menentukan daya yang diterima oleh *receiver*. Oleh karena itu diperlukan permodelan yang nantinya dapat merepresentasikan kanal komunikasi tersebut.

2.4.2 Shadowing

Shadowing merupakan fenomena yang terjadi pada sinyal yang diterima oleh *receiver* apabila daya yang diterima mengalami pelemahan atau attenuasi yang berubah-ubah dan acak. Hal ini disebabkan karena media komunikasi antara *transmitter* dan *receiver* terdapat halangan, seperti terlihat pada Gambar 2.29. Biasanya halangan tersebut berupa bukit, gedung tinggi.



Gambar 2.29 Shadowing

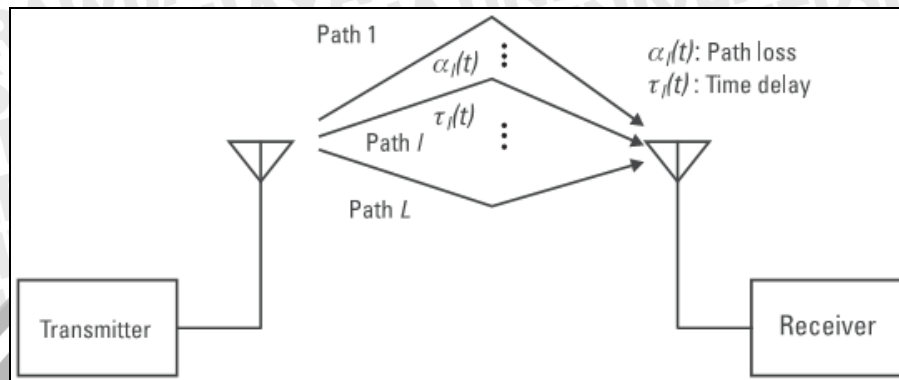
Sumber : James K.Cavers, 2002:15

2.4.3 Kanal Fading

Pada komunikasi *wireless*, umumnya sebuah sinyal yang diterima oleh *receiver* merupakan sejumlah sinyal asli dari *transmitter* yang mengalami pantulan dari berbagai obyek yang berada di antara *transmitter* dan *receiver*. Dan sejumlah sinyal tersebut dikenal dengan istilah sinyal *multipath*.

Sinyal *multipath* yang disebabkan karena pantulan tersebut mengalami perubahan karakteristik sinyal, seperti amplitudo, fasa dan waktu sinyal. Karena perubahan parameter sinyal inilah, maka sinyal yang diterima oleh *receiver* mengalami *fading*.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya bahwa sinyal yang diterima oleh penerima merupakan sinyal yang *multipath*, maka kanal propagasi dapat dimodelkan sebagai kanal *multipath fading*. Adapun tipikalnya kanal *multipath fading* dapat dilihat pada Gambar 2.30



Gambar 2.30 Model Kanal *Multipath Fading*

Sumber : Hara S., Ramjee P., 2003:14

Multipath propagasi, pergerakan, dan bandwidth adalah faktor yang menyebabkan *fading*. Sehingga sinyal yang diterima mengalami *delay* dan perbedaan waktu. *multipath delay* diukur dari *delay spread* dan *bandwidth* koheren. Sedangkan perbedaan waktu yang disebabkan karena pergerakan, diukur dari *Doppler spread* dan waktu koheren.

- *Delay spread* (σ_T)

Delay spread merupakan parameter yang menggambarkan waktu sinyal pantulan diterima setelah sinyal asli dari *transmitter* diterima oleh *receiver*. RMS (*root mean square*) *delay spread* (σ_T) merupakan parameter yang menyatakan rata-rata dari *delay spread* dan umumnya parameter ini yang biasanya digunakan untuk menyatakan *delay spread* dari sinyal *multipath*. Pada umumnya pada komunikasi *Outdoor* mempunyai σ_T pada orde mikro sekon, sedangkan pada komunikasi *Indoor* pada orde nano sekon.

- *Bandwidth* koheren (B_c)

Bandwidth koheren merupakan parameter yang menggambarkan tentang respon frekuensi dari sebuah kanal. *bandwidth* koheren berbanding terbalik dengan *delay spread*. Koheren *bandwidth* menyatakan suatu range frekuensi

pada kanal dapat dianggap flat atau bandwidth diantara dua frekuensi yang memiliki potensi kuat terjadi korelasi amplitudo. Bandwidth koheren dapat dinyatakan sebagai

$$B_c = \frac{1}{50\sigma_T} \tag{2-27}$$

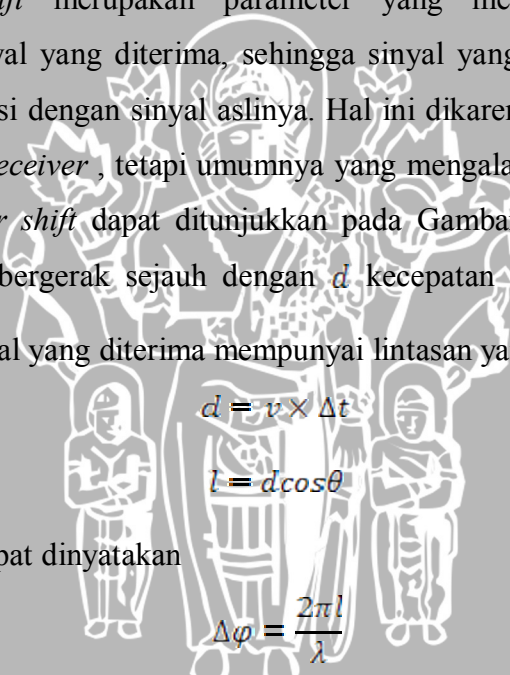
Untuk potensi korelasi lebih dari 0,9

$$B_c = \frac{1}{5\sigma_T} \tag{2-28}$$

Untuk potensi korelasi lebih dari 0,5

- *Doppler shift* (f_d)

Doppler shift merupakan parameter yang menyatakan pergeseran frekuensi dari sinyal yang diterima, sehingga sinyal yang diterima mengalami perbedaan frekuensi dengan sinyal aslinya. Hal ini dikarenakan pergerakan dari *transmitter* atau *receiver*, tetapi umumnya yang mengalami pergerakan adalah *receiver*. *Doppler shift* dapat ditunjukkan pada Gambar 2.31 terlihat bahwa sebuah *receiver* bergerak sejauh dengan d kecepatan v , karena pergerakan tersebut maka sinyal yang diterima mempunyai lintasan yang berbeda, maka



pergeseran fasa dapat dinyatakan

$$d = v \times \Delta t$$

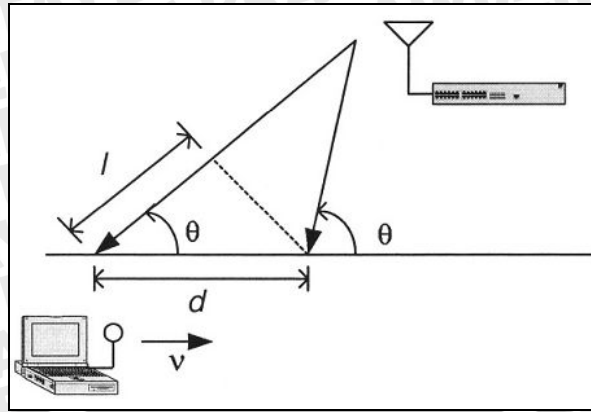
$$l = d \cos \theta$$

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi l}{\lambda}$$

Maka *doppler shift* (f_d) dapat ditulis sebagai berikut

$$f_d = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{v}{\lambda} \cos \theta \tag{2-29}$$

Doppler shift akan bernilai positif apabila pergerakannya menuju sumber sinyal, tapi sebaliknya *doppler shift* akan bernilai negatif apabila bergerak pada arah sebaliknya.



Gambar 2.31 Efek Doppler

Sumber : Ahmad R.S. Bahai, Burton R.S, Mustafa Ergen, 2004: 20

- *Doppler spread* (f_m)

Doppler spread merupakan parameter Doppler yang menyatakan nilai maksimal dari *doppler shift*, dengan kata lain Doppler spread ini terjadi apabila pergerakannya membuat sudut 0° ($\cos 0 = 1$). Maka maksimum *doppler shift* (f_m) dapat dinyatakan sebagai berikut

$$f_m = \frac{v}{\lambda} = \frac{v \times f}{c} \tag{2-30}$$

Dengan

- f_m adalah maksimum *doppler shift* (Hz)
- v adalah kecepatan (m/s),
- f adalah frekuensi sinyal (Hz),
- λ adalah panjang gelombang (m), serta
- c adalah cepat rambat gelombang cahaya (3×10^8 m/s).

- Waktu koheren (T_c)

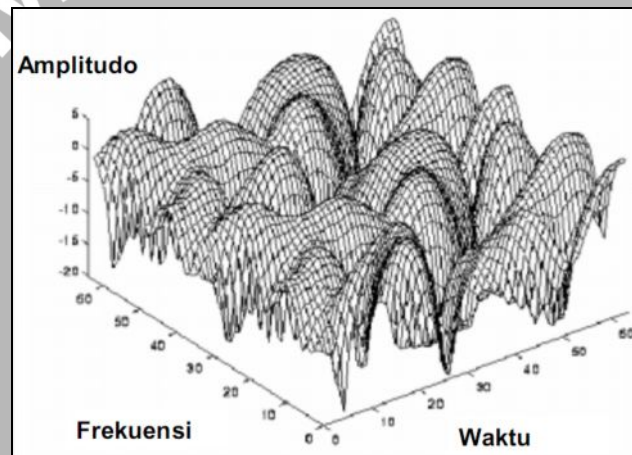
Waktu koheren (T_c) merupakan parameter yang menyatakan periode waktu dua buah sinyal yang diterima dan memiliki korelasi amplitudo yang besar. Waktu koheren dapat dinyatakan sebagai

$$T_c \approx \frac{1}{f_m} \quad (2-31)$$

Dengan

- T_c adalah waktu koheren (s),
- f_m adalah maksimum doppler (Hz).

Parameter *delay spread* dan *bandwidth koheren* bersifat tidak saling mempengaruhi dengan parameter *Doppler spread* dan waktu koheren. Dan Parameter-parameter *fading* itulah yang menentukan jenis *fading* dari sebuah kanal *fading*. Adapun jenis *fading* dapat dibagi menjadi dua, yakni berdasarkan waktu dan berdasarkan frekuensi. Kedua jenis *fading* ini dapat digambarkan pada Gambar 2.32



Gambar 2.32 *Fading* Pada Domain Frekuensi Dan Waktu

Sumber : www.stttelkom.ac.id

Jenis *fading* berdasarkan domain frekuensi, dibagi menjadi dua

a. *Flat fading*

Signal dikatakan mengalami *flat fading* apabila bandwidth kanal lebih besar dari bandwidth sinyal ($B_c > B_s$) dan *delay spread* lebih kecil dari periode simbol ($\sigma_T < T_s$).

b. *Selective fading*

Selective Fading merupakan kebalikan dari *flat fading*, karena *selective fading* terjadi apabila *bandwidth* kanal lebih kecil dari *bandwidth* sinyal ($B_c < B_s$) dan *delay spread* lebih besar dari periode simbol ($\sigma_T > T_s$).

Sedangkan *fading* berdasarkan domain waktu, juga dibedakan menjadi dua

a. *Fast fading*

Fast fading terjadi jika waktu koheren lebih kecil dari periode simbol dari sinyal ($T_c < T_s$), sehingga respon impulse dari kanal berubah dengan cepat dalam suatu periode simbol sinyal.

b. *Slow fading*

Slow fading merupakan kebalikan dari *fast fading*, jadi waktu koheren lebih besar dari periode simbol dari sinyal ($T_c > T_s$), sehingga respon impulse dari kanal berubah dengan lambat dalam suatu periode simbol sinyal.

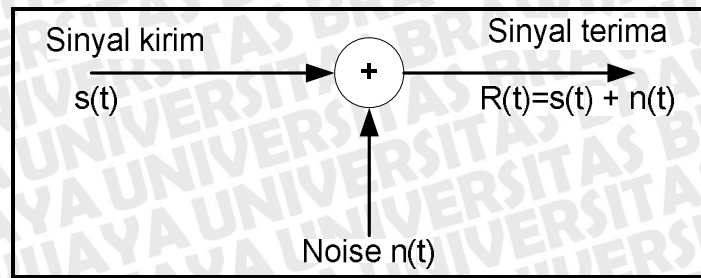
2.4.4 Model Kanal

Kanal propagasi mempunyai karakteristik yang selalu berubah dan berbeda-beda. Hal ini diperlukan suatu permodelan kanal dalam mengetahui performansi suatu sistem komunikasi *wireless*, sehingga dengan demikian teknologi komunikasi *wireless* dapat dikembangkan. Permodelan kanal tersebut direpresentasikan dengan suatu probabilitas model matematika yang didasarkan pada kanal propagasi dalam komunikasi *wireless*.

Contoh dari model kanal propagasi, diantaranya adalah kanal AWGN, kanal Rician dan kanal Rayleigh. Adapun penjelasan dari masing-masing model kanal, dijelaskan pada sub bab berikut.

2.4.4.1 Kanal AWGN

Kanal AWGN adalah kanal ideal yang hanya memiliki *noise* AWGN (*additive white gaussian noise*) di dalamnya. Kanal ideal berarti kanal ini tidak menyebabkan distorsi (perubahan bentuk sinyal) pada sinyal yang dikirim, artinya kanal ideal memiliki *bandwidth* tidak terbatas dan respon frekuensinya tetap untuk segala frekuensi. Gambar 2.33 menunjukkan model kanal AWGN.



Gambar 2.33 Model kanal AWGN

Sumber : Rustam Efendi :28

Berdasarkan Gambar 2.33, sinyal yang dikirim $s(t)$, pada kanal akan terkena *noise* AWGN $n(t)$. Sehingga sinyal yang diterima menjadi $r(t) = s(t) + n(t)$. *Noise* AWGN adalah *noise* yang pasti terjadi dalam jaringan *wireless* manapun, dan memiliki sifat *additive*, *white* serta *gaussian*. Sifat *additive* artinya *noise* ini dijumlahkan dengan sinyal, sifat *white* artinya tergantung dari frekuensi operasi sistem dan memiliki rapat daya yang konstan, dan sifat *gaussian* artinya besarnya tegangan *noise* memiliki rapat peluang terdistribusi *gaussian*.

Besarnya daya AWGN dapat dilihat dari persamaan berikut :

$$N_o = kTB \quad (2-32)$$

dengan:

k = konstanta boltzman (1.38×10^{-23} J/K)

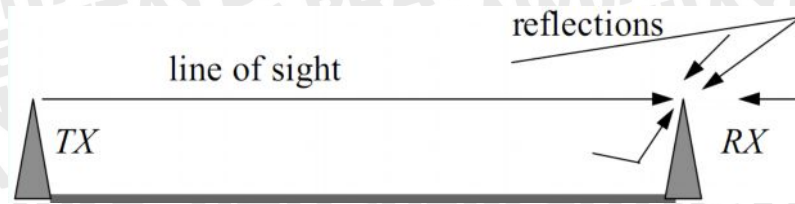
T = temperatur operasi sistem ($^{\circ}\text{K}$)

B = *bandwidth* (Hz)

Dari persamaan (2.27) dapat dipahami bahwa keberadaan *noise* AWGN dalam jaringan *wireless*, bahkan jaringan telekomunikasi manapun, akan selalu ada selama terdapat *bandwidth* dan temperature perangkat telekomunikasi bekerja pada suhu di atas -273°C .

2.4.4.2 Kanal Rician *Fading*

Kanal *fading* yang terjadi apabila sejumlah sinyal yang diterima *receiver* masih terdapat sinyal dominan yakni sinyal langsung atau *line of sight* (LOS) dari *transmitter* ke *receiver* dapat dikarakteristikan dengan distribusi Rician, seperti terlihat pada Gambar 2.34



Gambar 2.34 Karakteristik Kanal Rician

Sumber : www.stttelkom.ac.id

Adapun kanal Rician *fading* mempunyai probability density function seperti

$$p(\xi) = \int_0^{2\pi} p(\xi, \theta) d\theta \tag{2-33}$$

$$p(\xi) = \begin{cases} \frac{\xi}{\sigma_r^2} I_0\left(\frac{\xi A}{\sigma_r^2}\right) e^{-\frac{\xi^2 + A^2}{2\sigma_r^2}}, & (A > 0, \xi > 0) \\ 0, & (\xi < 0) \end{cases}$$

ξ merupakan *envelope* dari sinyal, σ_r^2 merupakan variance, A^2 merupakan daya sinyal LOS, I_0 merupakan fungsi Bessel termodifikasi bentuk pertama orde 0, yang didefinisikan sebagai berikut

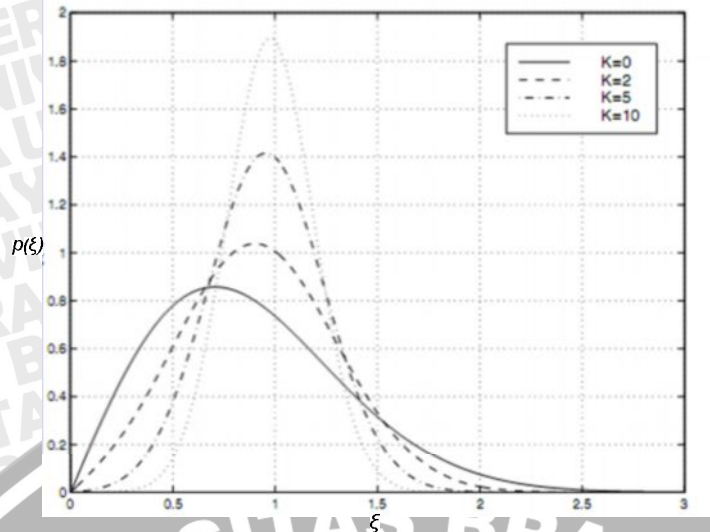
$$I_0(x) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{x \cos \theta} d\theta \tag{2-34}$$

Pada persamaan (2.28) merupakan p.d.f dari kanal yang terdistribusi Rician, yang mempunyai faktor K yang dinyatakan dengan

$$K = \frac{A^2}{2\sigma^2} \tag{2-35}$$

Faktor K menyatakan rasio perbandingan antara daya sinyal langsung (LOS) dengan sinyal pantulan. Semakin kecil nilai K, maka mengindikasikan bahwa semakin kecil daya sinyal LOS. Jadi apabila faktor K=0, maka menyatakan tidak terdapat sinyal LOS, sedangkan apabila faktor K= ∞ , maka menyatakan tidak terdapat sinyal pantulan.

Distribusi Rician dengan variasi nilai K dapat dilihat pada Gambar 2.35



Gambar 2.35 P.d.f dari Distribusi Rician dengan Variasi Faktor K

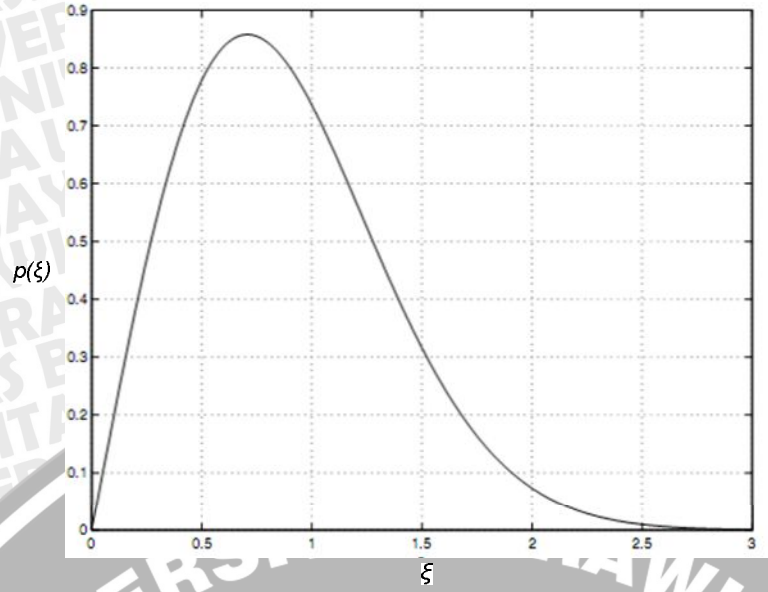
Sumber : Branca V. & Jinhong Y. , 2003 : 53

2.4.4.3 Kanal Rayleigh Fading

Kanal *fading* yang terjadi apabila hanya terdapat sinyal pantulan saja yang diterima oleh *receiver*, dapat dikarakteristikan dengan distribusi Rayleigh. Oleh karena itu, kanal seperti ini dimodelkan dengan kanal Rayleigh *fading* dan memiliki *probability density function* sebagai berikut

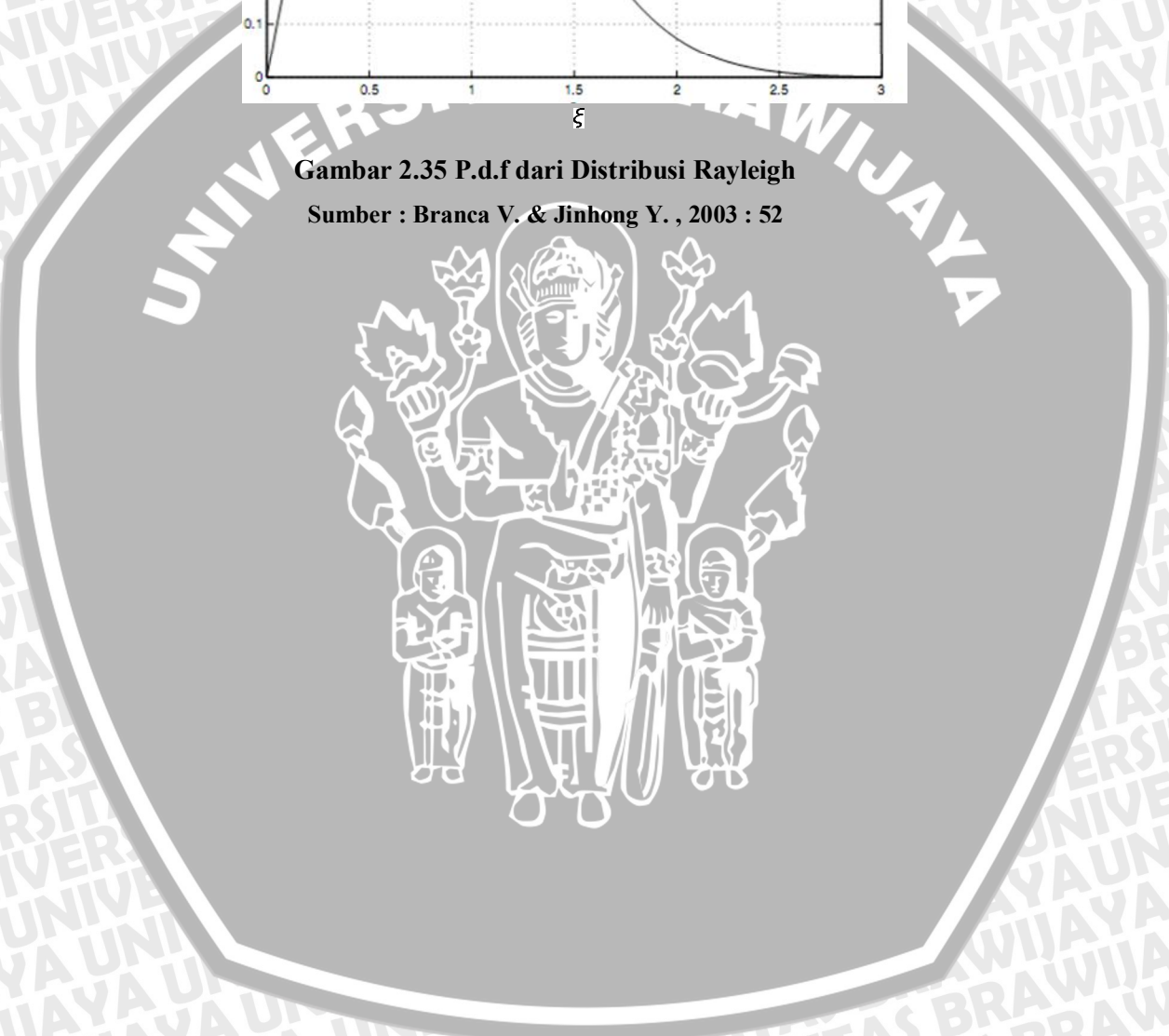
$$p(\xi) = \frac{\xi}{\sigma_r^2} e^{-\frac{\xi^2}{2\sigma_r^2}}, (\xi > 0) \tag{2-36}$$

Dengan ξ merupakan *envelope* dari sinyal, σ_r^2 merupakan variance. Dan distribusi Rayleigh dapat dilihat pada Gambar 2.36



Gambar 2.35 P.d.f dari Distribusi Rayleigh

Sumber : Branca V. & Jinhong Y. , 2003 : 52



2.5 Performansi Sistem

Performansi sistem komunikasi merupakan unjuk kerja suatu sistem komunikasi. Performansi sistem sangat dipengaruhi oleh saluran transmisi dari sebuah sistem komunikasi tersebut. Adapun beberapa parameter yang menyatakan performansi sistem komunikasi adalah *signal-to-noise ratio* (SNR) dan *bit error rate* (BER). Penjelasan untuk kedua parameter ini dapat dilihat pada sub bab selanjutnya.

2.5.2 Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal-to-noise ratio (SNR) merupakan salah satu dari parameter performansi sebuah sistem komunikasi yang menyatakan perbandingan daya sinyal yang ditransmisikan dengan daya *noise*. Adapun persamaan dari SNR adalah sebagai berikut,

$$SNR = 10 \log \frac{P_s}{N} \text{ dB} \quad (2-37)$$

Keterangan,

P_s adalah daya sinyal dalam satuan watt,

N adalah daya *noise* dalam satuan watt,

Persamaan 2.37 juga dapat dinyatakan sebagai

$$SNR(\text{dB}) = P_s(\text{dBm}) - N(\text{dBm}) \quad (2-38)$$

2.5.3 Bit Error Rate

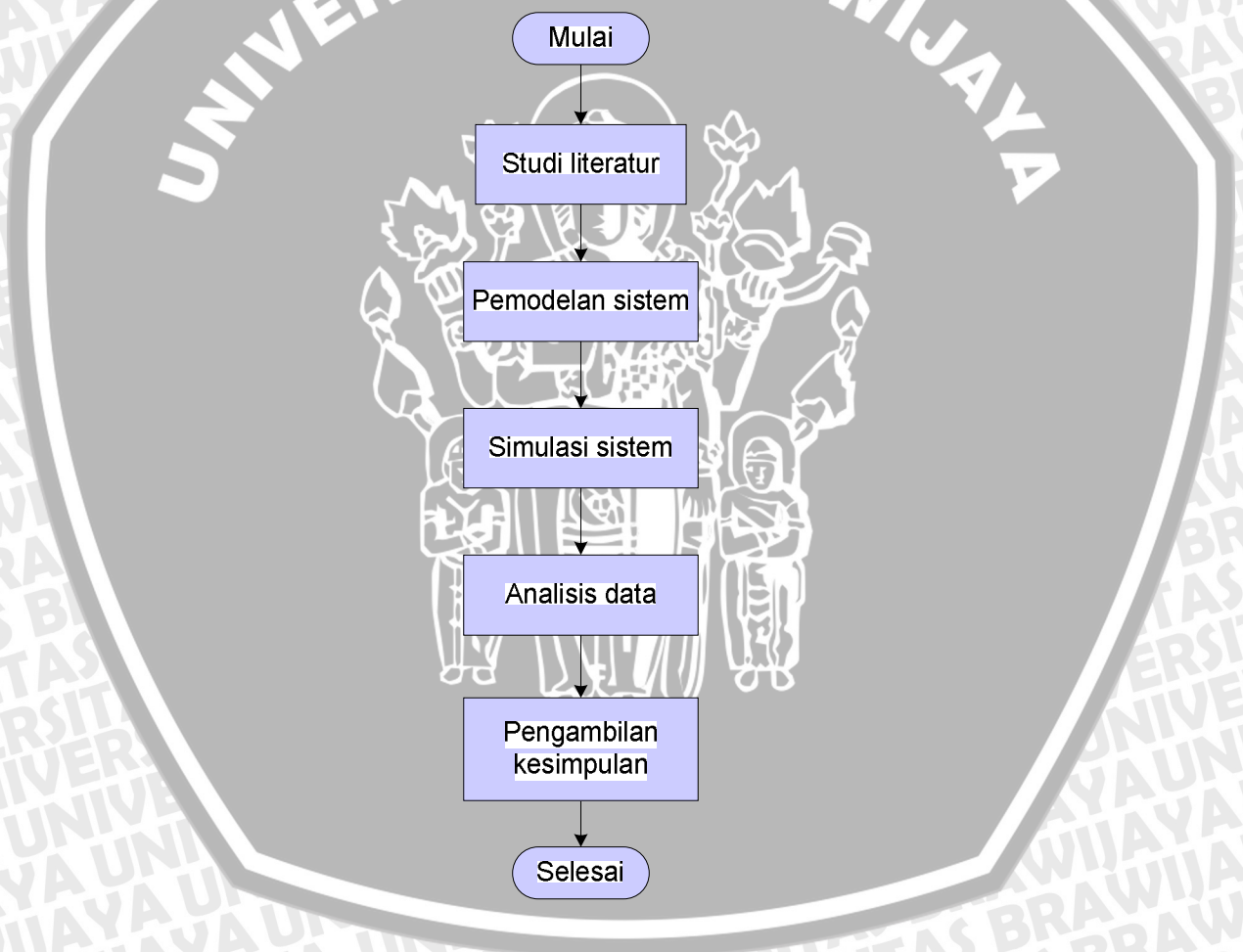
BER (*Bit Error Rate*) merupakan salah satu parameter kualitas sinyal yang diterima untuk sistem transmisi data digital. BER dapat didefinisikan sebagai perbandingan jumlah bit *error* terhadap total bit yang diterima.

$$BER = \frac{\text{Jumlah Bit yang salah}}{\text{Total bit yang diterima}} \quad (2-39)$$



BAB III METODOLOGI

Dalam menyusun skripsi ini diperlukan tahapan-tahapan metodologi yang saling berhubungan dan berurutan. Hal ini bertujuan agar mendapatkan hasil yang maksimal dalam pengerjaan skripsi ini. Adapun urutan tahapan-tahapan dari metodologi yakni studi literatur, pemodelan sistem, simulasi model, analisis data, dan pengambilan kesimpulan dan saran. Urutan tahapan metodologi tersebut dapat dilihat pada diagram alir yakni pada Gambar 3.1. Penjelasan dari tahapan metodologi ini dapat dilihat pada subbab berikutnya pada bab ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi

3.1 Studi Literatur

Tahapan studi literatur ini dimaksudkan untuk lebih memahami konsep tentang WiMAX dan konsep lain yang mendukung penyusunan skripsi ini. Tahapan metodologi ini diawali dengan pengumpulan data yang bersifat sekunder, yakni bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, thesis, internet, dan forum-forum yang mengkaji tentang WiMAX, kanal propagasi, teknik diversitas dan Matlab. Adapun data-data tersebut diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Konsep mengenai teknologi *broadband wireless access*,
- b. Konsep tentang WiMAX 802.16, khususnya standar yang dikeluarkan pada tahun 2004,
- c. Konsep mengenai teknik diversitas, khususnya STBC dengan menggunakan Metode Alamouti,
- d. Konsep tentang kanal propagasi pada komunikasi *wireless* , khususnya kanal AWGN dan kanal *multipath* yang terdistribusi Rayleigh dan Rician,
- e. Konsep parameter-parameter performansi jaringan, khususnya BER dan SNR,
- f. Konsep penggunaan *software* Matlab 7.5.0 (R2007), khususnya cara dalam pembuatan model dan mensimulasikan model.

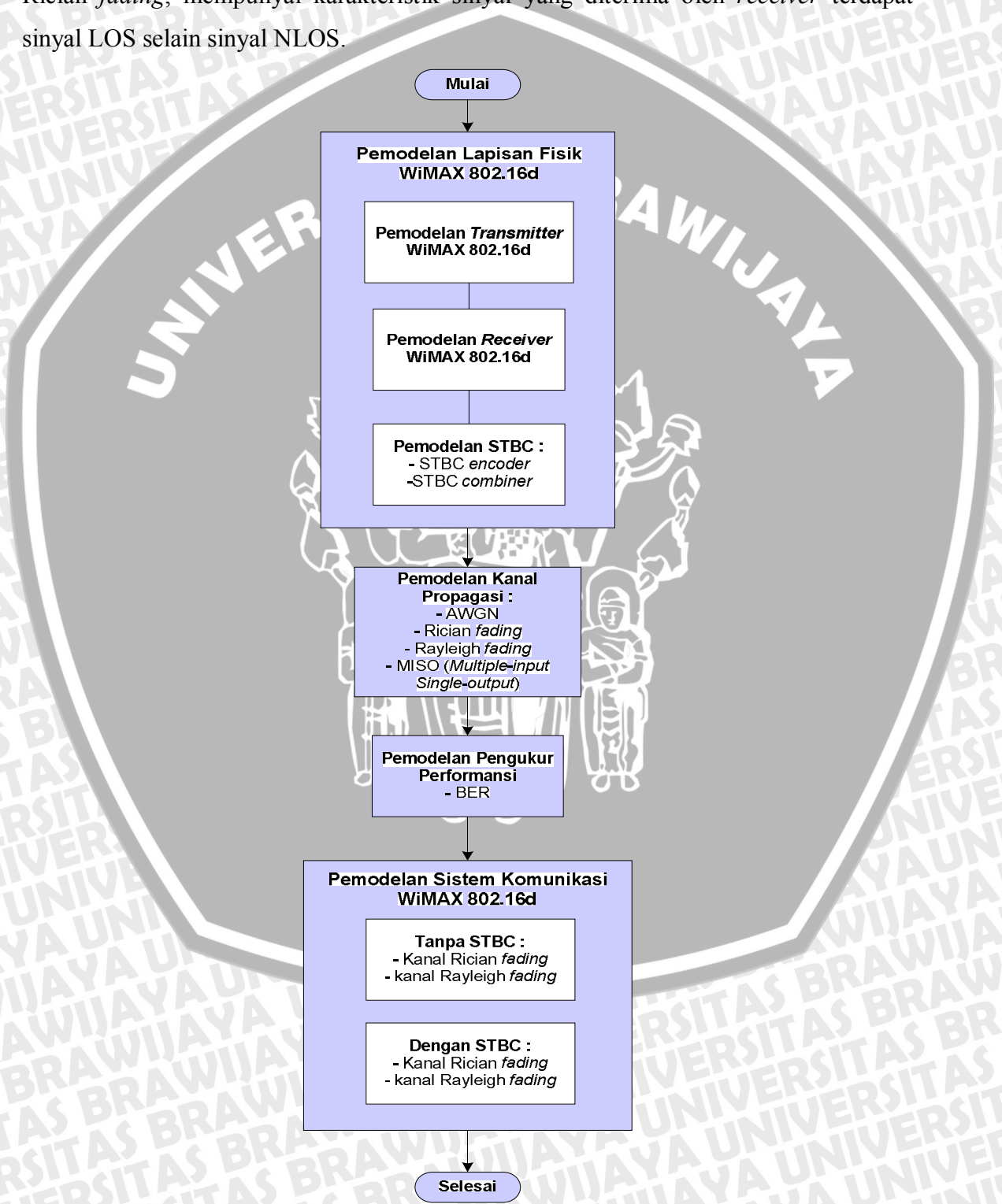
Setelah tahapan pengumpulan data, maka diperlukan suatu pengkajian terhadap data-data yang mendukung dari penyusunan skripsi ini.

3.2 Pemodelan Sistem

Tahapan pemodelan sistem diperlukan dalam mendukung analisis performansi sistem dengan menggunakan program Matlab 7.5.0 (R2007b), yakni menggunakan fasilitas Simulink. Model sistem yang dimaksud adalah model lapisan fisik dari WiMAX 802.16d tanpa STBC dan menggunakan STBC, beserta kanal propagasi yang digunakan dalam pengujian komunikasi antara *transmitter* dan *receiver*. Pemodelan lapisan fisik ini didasarkan pada standar yang dikeluarkan IEEE mengenai *air interface* WiMAX 802.16d. Adapun diagram alir pemodelan secara umum dapat dilihat pada Gambar 3.2

Kanal propagasi dimodelkan menjadi perpaduan dua model kanal, yakni kanal AWGN dan kanal *fading*, baik kanal Rician *fading* maupun kanal Rayleigh *fading*. Model kanal AWGN memberikan karakteristik sebuah kanal tidak merubah bentuk terhadap sebuah sinyal, tetapi hanya sebatas menguatkan atau melemahkan sinyal

tersebut tanpa merubah bentuk sinyal. Sedangkan kanal *fading* memberikan karakteristik bahwa terdapat sejumlah sinyal yang diterima pada sebuah *receiver*, baik secara LOS maupun NLOS. Dan kanal *fading* ini dimodelkan dengan sebuah kanal Rayleigh *fading* atau kanal Rician *fading*, dengan kanal Rayleigh mempunyai karakteristik sinyal yang diterima oleh *receiver* hanya sinyal NLOS. Sedangkan kanal Rician *fading*, mempunyai karakteristik sinyal yang diterima oleh *receiver* terdapat sinyal LOS selain sinyal NLOS.



Gambar 3.2 Diagram Alir Pemodelan

Sedangkan kanal propagasi yang digunakan untuk sistem yang menggunakan STBC adalah kanal MISO (*multiple-input single-output*). Hal ini dikarenakan keluaran dari *transmitter* ada dua keluaran, sedangkan pada *receiver* terdapat satu masukan.

Dalam mengetahui nilai parameter performansi sistem, dalam hal ini BER, maka dilakukan pemodelan terhadap alat ukur BER. Model BER inilah yang nantinya menjadi dasar untuk mengetahui tingkat performansi sistem WiMAX 802.16d.

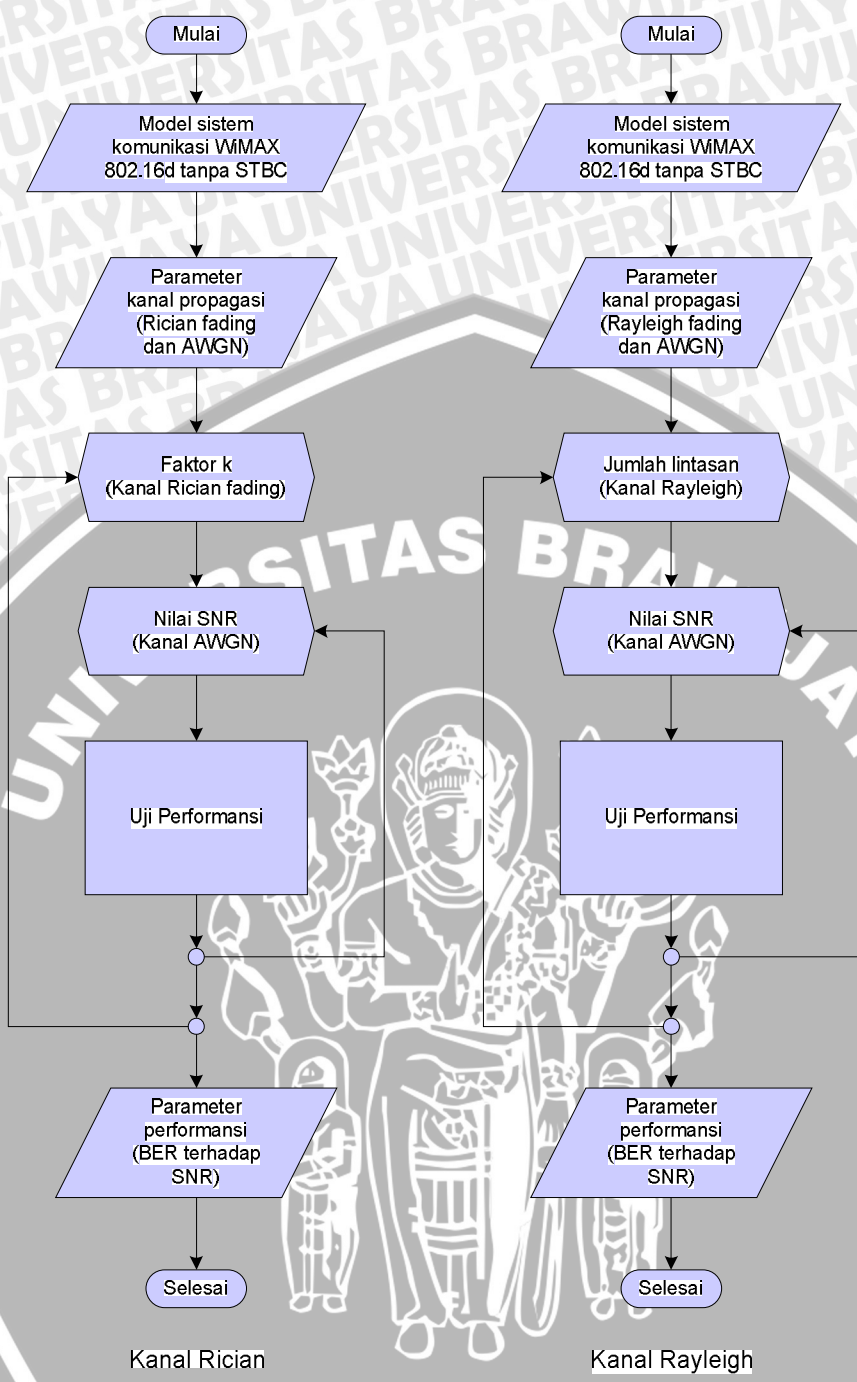
Pemodelan sistem komunikasi WiMAX 802.16d tanpa menggunakan STBC diperlukan untuk membuktikan bahwa performansi dari WiMAX 802.16d sangat terpengaruh oleh kondisi kanal yang *multipath fading* dan tingkat performansinya kurang, sehingga diperlukan peningkatan pada performansi sistem komunikasi WiMAX 802.16d.

Pemodelan sistem komunikasi WiMAX 802.16d dengan menggunakan STBC merupakan inti dari skripsi ini. Hal ini nantinya menjadi bukti bahwa dengan menggunakan teknik STBC pada lapisan fisik WiMAX 802.16d akan meningkatkan performansi dari sistem komunikasi WiMAX 802.16d.

3.3 Simulasi Sistem

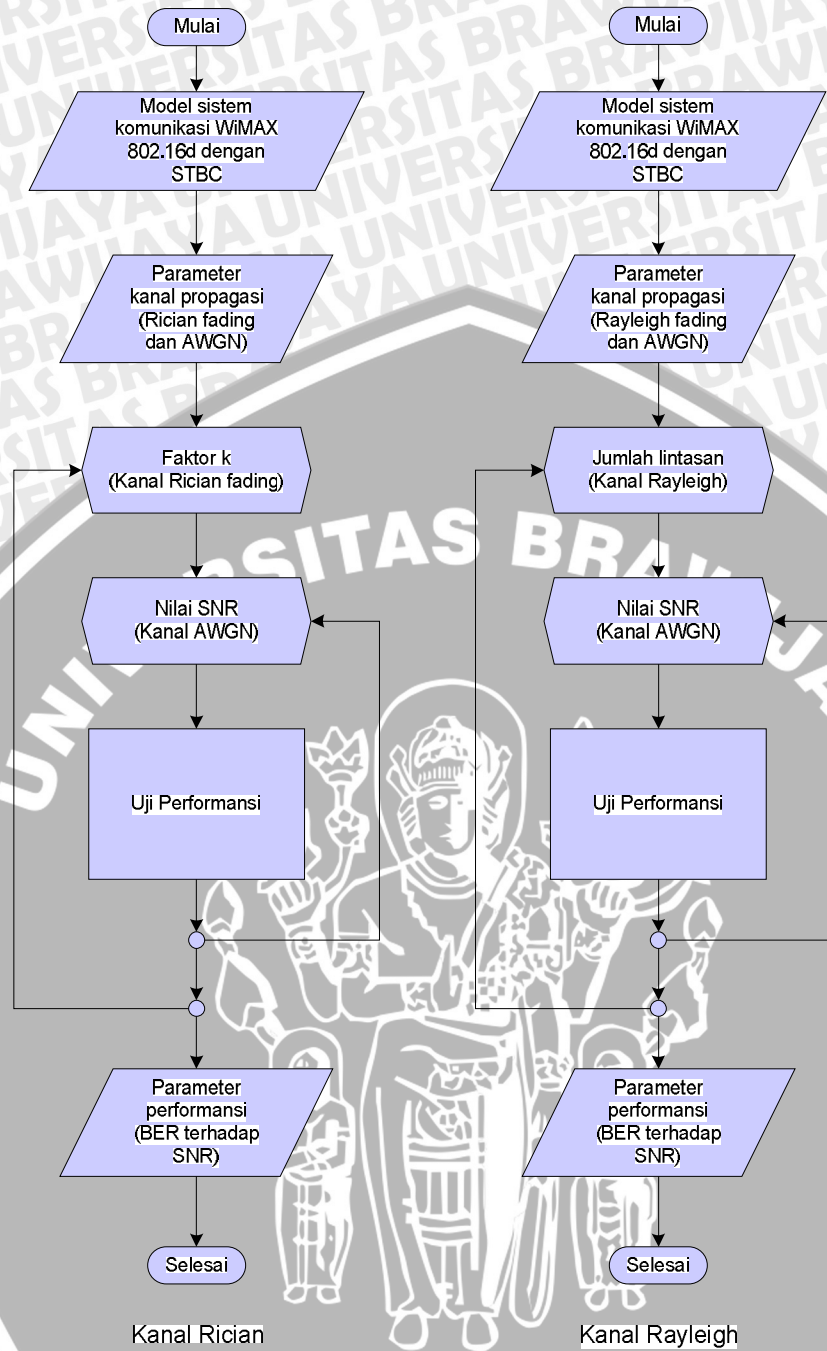
Tahapan simulasi merupakan tahapan dalam mendapatkan data primer. Tahapan ini dilakukan setelah model sistem komunikasi dari WiMAX 802.16d telah dibuat. Tahapan simulasi ini terbagi menjadi dua tahapan yang berurutan, yaitu simulasi pada model sistem komunikasi WiMAX 802.16d tanpa menggunakan STBC dan simulasi pada model sistem komunikasi WiMAX 802.16d dengan menggunakan STBC. Adapun diagram alir dari tahapan simulasi baik tanpa STBC maupun dengan STBC dapat dilihat pada Gambar 3.3

Tahapan simulasi ini dilakukan dengan durasi waktu 0,025 sekon, hal ini didasari dengan asumsi sinyal yang diterima oleh *receiver* melewati kanal propagasi dengan kondisi yang sama dengan durasi waktu 0,025 sekon. Dengan kata lain, diasumsikan bahwa selama 0,025 sekon, karakteristik kanal yang dilewati oleh sinyal adalah sama.



(a)





(b)

Gambar 3.3 (a) Diagram Alir Simulasi WiMAX 802.16d Tanpa STBC, (b) Diagram Alir Simulasi WiMAX 802.16d dengan STBC

Kedua tahapan simulasi dilakukan secara berurutan, hal ini bertujuan agar dapat terlihat kelebihan dari sistem komunikasi WiMAX 802.16d menggunakan teknik STBC dalam hal performansi sistem, dibanding dengan tanpa menggunakan teknik STBC.

Pada setiap sistem komunikasi tersebut dilakukan dua pengujian yang berbeda, yakni dengan menggunakan kanal uji Rician *fading* dan Rayleigh *fading*. Kedua kanal

tersebut masing-masing ditambahkan satu kanal yang bersifat ideal untuk komunikasi *wireless*, kanal tersebut adalah kanal AWGN. Seperti yang diketahui sebelumnya bahwa kanal AWGN adalah kanal yang hanya sebatas melemahkan dan menguatkan sinyal tanpa mengubah bentuk sinyal tersebut.

Penggunaan Kanal Rician *fading* sebagai kanal uji bertujuan untuk mengetahui performansi sistem komunikasi WiMAX 802.16d saat terdapat sinyal dominan (LOS), yakni dengan mengubah parameter faktor k yang menyatakan rasio perbandingan sinyal LOS dengan sinyal pantulan. Variasi parameter faktor k yang digunakan adalah sebanyak 3 (tiga) variasi pada kanal Rician *fading*, yaitu 2, 5, dan 10. Dan diasumsikan lintasan yang terbentuk hanya 2 (dua) buah lintasan.

Penggunaan kanal Rayleigh *fading* sebagai kanal uji bertujuan untuk mengetahui performansi sistem komunikasi WiMAX 802.16d saat tidak terdapat sinyal LOS, atau hanya terdapat sejumlah sinyal pantulan. Dalam skripsi ini digunakan 3 (tiga) variasi jumlah lintasan, yaitu 2, 4 dan 6 buah lintasan dan nantinya pengujiannya dilakukan secara berurutan.

Sedangkan kanal AWGN digunakan untuk memberikan level SNR pada suatu kanal propagasi. Variasi SNR yang digunakan mempunyai interval 2 dB, sehingga nantinya diketahui perbedaan performansi yang cukup teliti. Dan perubahan nilai SNR pada kanal AWGN ini dilakukan sampai mendapatkan besar BER yang telah ditentukan.

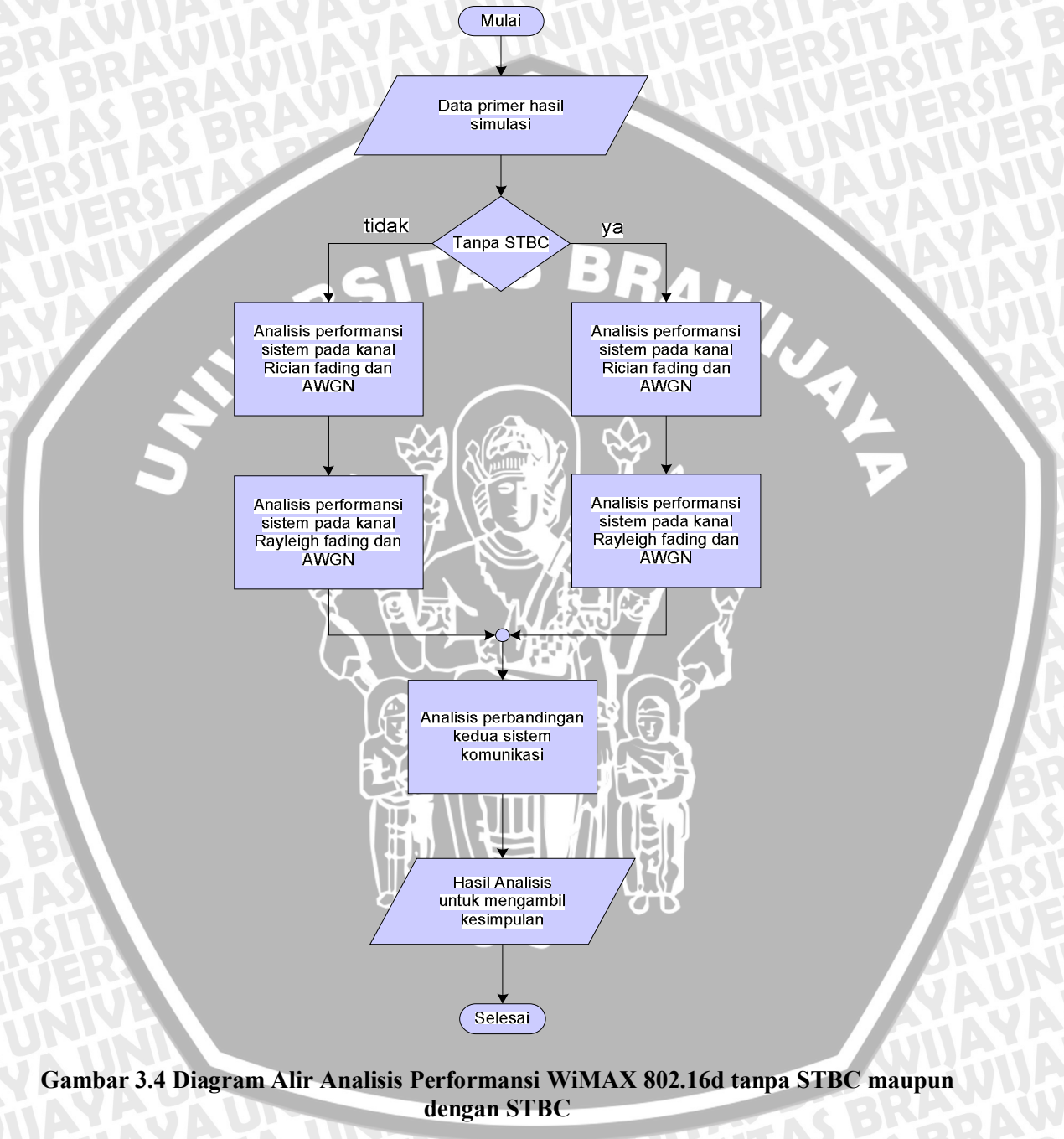
Berdasarkan pada ruang lingkup skripsi ini, bahwa parameter pengujian performansi sistem adalah BER terhadap SNR, maka dalam melakukan simulasi diperlukan tambahan blok model pengukur yang dapat mengetahui parameter tersebut. parameter SNR yang dimaksud adalah parameter SNR pada kanal AWGN.

Dalam melakukan simulasi sistem diperlukan pengaturan silmulasi, yakni tentang parameter-parameter dalam setiap model sistem. Parameter-parameter tersebut adalah parameter model lapisan fisik WiMAX 802.16d dan model kanal propagasi yang digunakan. Adapun parameter-parameter yang diatur atau ditentukan, dijelaskan pada bab lima tentang pembahasan.

3.4 Analisis Data

Analisis data merupakan tahapan menganalisis data primer yang didapatkan dari hasil simulasi. Analisis data ini juga terbagi menjadi tiga tahapan analisis, yaitu analisis data pada sistem komunikasi WiMAX 802.16d tanpa menggunakan teknik STBC dan

analisis data pada sistem komunikasi WiMAX 802.16d dengan menggunakan teknik STBC, kemudian tahapan analisis yang ketiga yakni membandingkan kedua sistem komunikasi tersebut. Adapun diagram alir dari tahapan ini dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Diagram Alir Analisis Performansi WiMAX 802.16d tanpa STBC maupun dengan STBC

Analisis data yang dilakukan dalam skripsi ini adalah menganalisis data primer hasil simulasi yang nantinya diperlukan dalam pengambilan kesimpulan. Adapun parameter yang menjadi acuan analisis adalah BER terhadap SNR.

3.5 Pengambilan Kesimpulan

Pengambilan Kesimpulan merupakan tahapan terakhir dari metodologi yang digunakan dalam skripsi ini dan dilakukan untuk menjawab permasalahan pada rumusan masalah. Adapun Pengambilan kesimpulan didasarkan pada hasil analisis data yang dilakukan mengenai performansi sistem komunikasi WiMAX 802.16d tanpa STBC dan performansi setelah menerapkan teknik STBC dengan Metode Alamouti.



BAB IV PEMODELAN

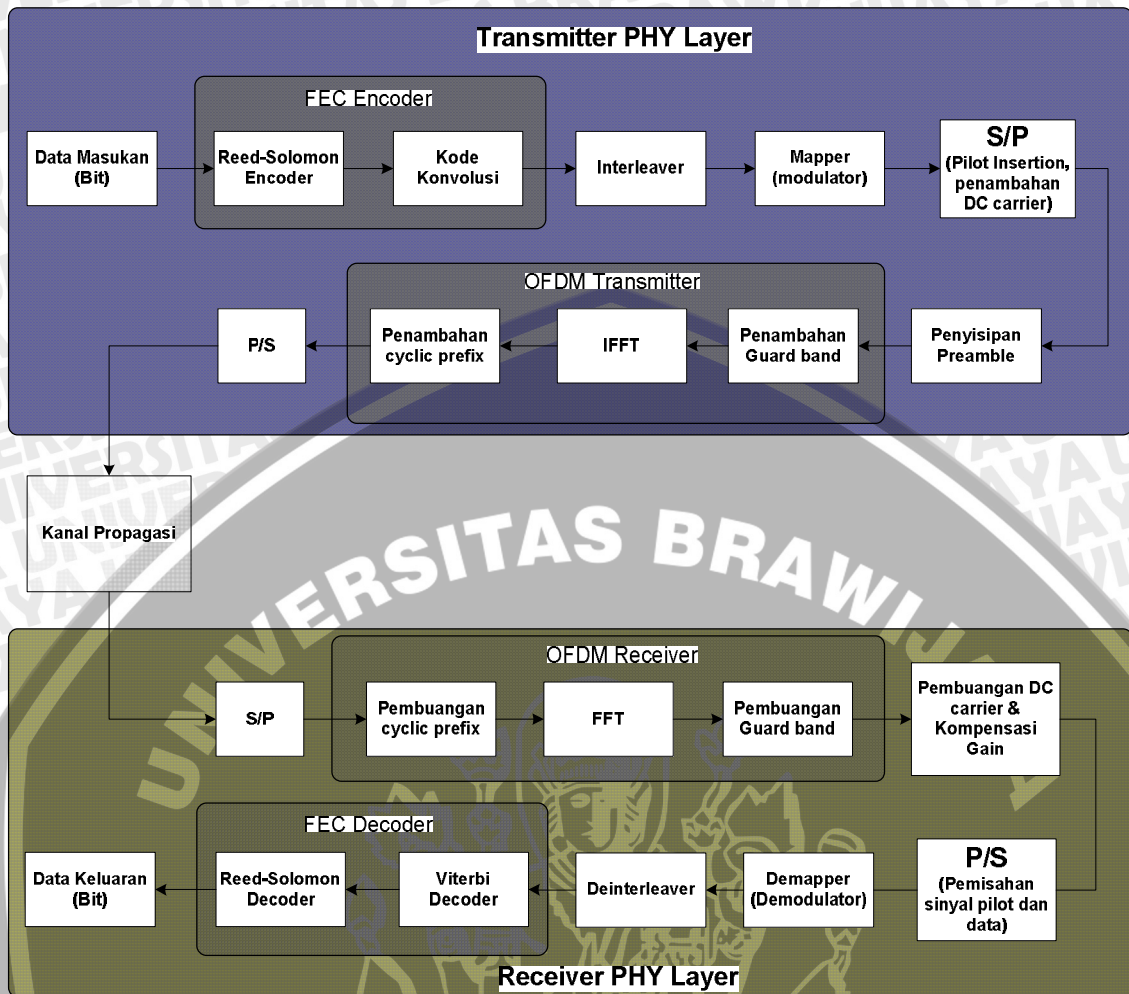
Dalam mendukung analisis yang dilakukan dalam skripsi ini, maka diperlukan pemodelan sistem dan simulasi sistem. Oleh karena itu diperlukan pembahasan tentang pemodelan sistem yang akan digunakan dalam simulasi. Simulasi dilakukan untuk mendapatkan hasil yang digunakan untuk menganalisis sistem tersebut.

Model sistem yang dimaksud adalah model sistem komunikasi WiMAX dengan standar 802.16d dengan menggunakan teknik *space-time block code* (STBC). Tetapi sebelumnya diperlukan pemodelan tanpa STBC, sehingga nantinya didapatkan hasil yang dapat dibandingkan antara sistem tanpa menggunakan STBC dengan sistem menggunakan STBC. Dan secara tidak langsung performansi dari sistem komunikasi WiMAX standar 802.16d dapat diketahui.

Pemodelan yang dilakukan hanya sebatas model lapisan fisik (*PHY layer*) dari WiMAX, beserta kanal propagasi yang digunakan dalam pengujian performansi sistem komunikasi. Pemodelan lapisan fisik, kanal propagasi dan pengukur BER, dilakukan dengan menggunakan program Matlab 7.5.0 (R2007b).

4.1 Pemodelan Lapisan Fisik WiMAX 802.16d

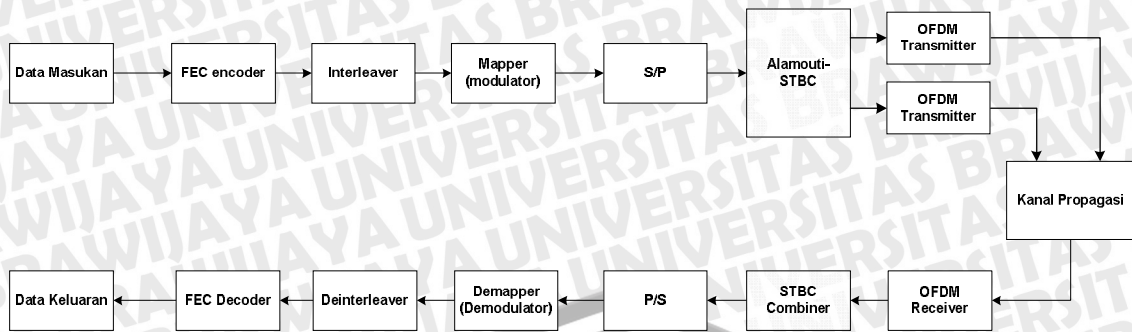
Berdasarkan standar *air interface* IEEE 802.16-2004 mengenai *Wireless MAN-OFDM*, lapisan fisik dari WiMAX 802.16d dapat dilihat pada Gambar 4.1. Terlihat bahwa sistem komunikasi WiMAX 802.16d, terdiri dari tiga komponen utama yakni *transmitter*, *receiver* dan kanal propagasi. Pada sistem komunikasi tersebut juga diterapkan teknik *adaptif modulation and coding*, dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi sistem komunikasi.



Gambar 4.1 Blok Diagram Lapisan Fisik Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d

Sumber : IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Oktober 2004

Space-time block code memberikan perubahan yang mendasar pada lapisan fisik dari bagian *transmitter* dan *receiver*. Telah diketahui bahwa dengan menggunakan Alamouti-STBC, pada bagian *transmitter* menggunakan dua buah antena *transmitter*, sedangkan pada bagian *receiver* menggunakan satu antena, tetapi menggunakan *combiner*. Adapun blok diagram sistem komunikasi WiMAX 802.16d dengan menggunakan Alamouti-STBC dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Blok Diagram Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d dengan Alamouti-STBC

Sumber : *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*, Oktober 2004

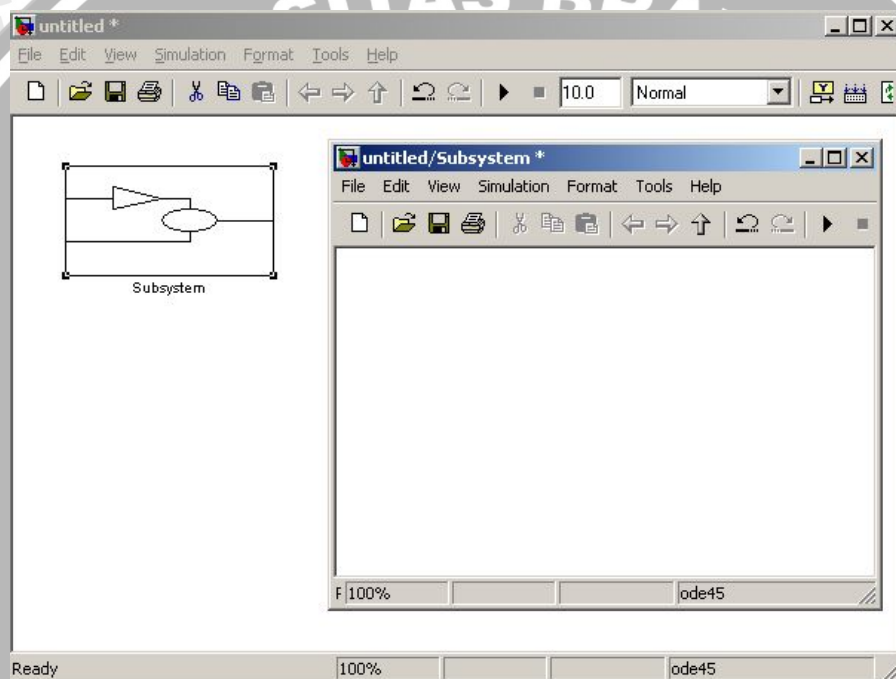
Dalam pemodelan dengan menggunakan program Matlab 7.5.0 (R2007b) ini, digunakan fasilitas Simulink, dan *library* yang disediakan untuk pemodelan lapisan fisik dari WiMAX. Adapun penjelasan pemodelan lapisan fisik dari sistem komunikasi WiMAX 802.16d tanpa menggunakan STBC dan menggunakan STBC.

Pada lapisan fisik WiMAX 802.16d terdapat parameter-parameter lapisan fisik yang harus diidentifikasi terlebih dahulu, adapun parameter-parameter tersebut adalah

- *Bandwidth* kanal (BW)
- Waktu tiap simbol yang digunakan (T_b)
- *Cyclic prefix* yang digunakan
- Waktu tiap *Cyclic prefix* (T_g)
- Jumlah simbol OFDM
- Waktu tiap simbol OFDM (T_s)
- Jumlah *preambles* simbol OFDM
- *Preamble* (P_{ALL} , P_{Short} , P_{EVEN} , P_{ODD})
- Jumlah total simbol
- Kode *rate*
- Jumlah *Subcarrier* pada *symbol* OFDM (N_{FFT})
- Ukuran blok sebelum dikodekan
- Jumlah *symbol Subcarrier* termasuk sinyal pilot (N_{used})
- Ukuran blok setelah dikodekan
- Jumlah *symbol data Subcarrier* pada setiap *symbol* OFDM (N_{data})
- Periode bit
- Frekuensi *sampling* (F_s)
- Batas SNR (untuk AMC)
- *Subcarrier spacing* (Δf)

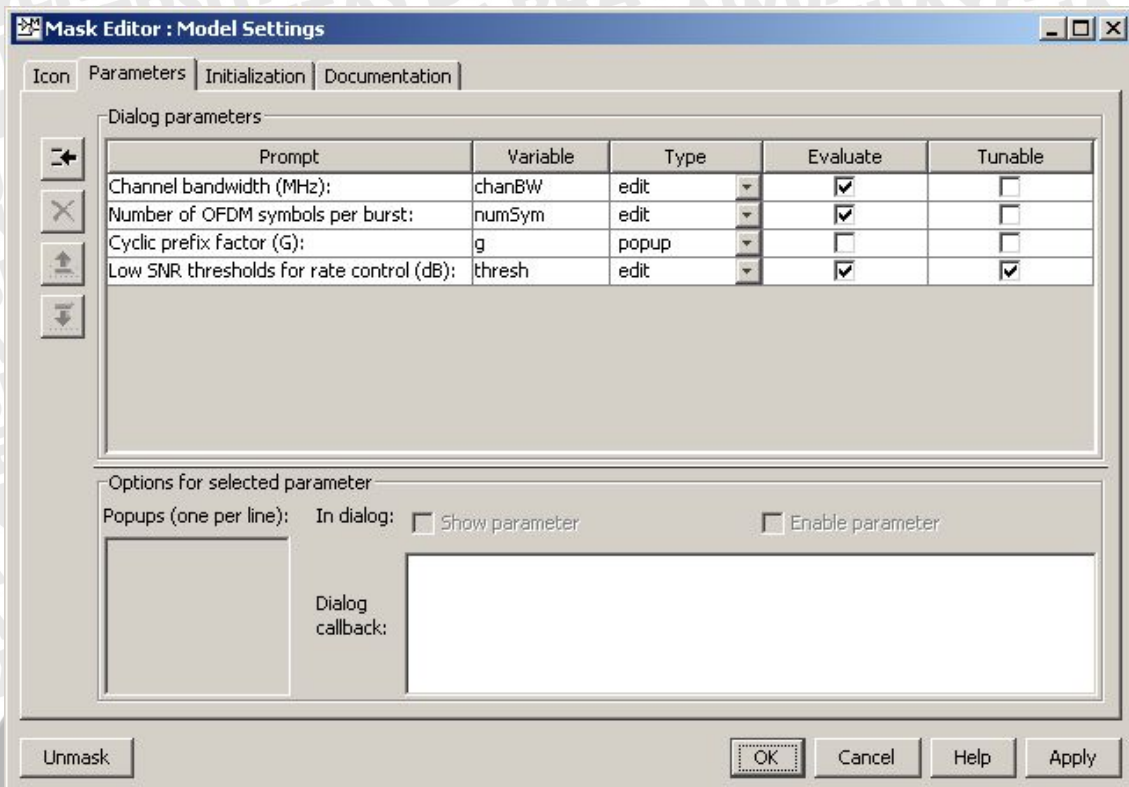
Pengaturan parameter-parameter tersebut dilakukan dengan membuat program m-file, adapun *listing* program tersebut dapat dilihat pada Lampiran 2.

Dalam pengaturan lapisan fisik terdapat parameter yang dapat diubah, yakni *bandwidth* kanal, jumlah *symbol* OFDM, *Cyclic prefix* yang digunakan, serta batas SNR yang digunakan untuk penerapan AMC. Oleh karena itu, diperlukan pembuatan model yang hanya digunakan untuk mengubah parameter-parameter tersebut. Adapun pembuatan model tersebut yakni dengan membuat subsistem terlebih dahulu pada lembar kerja simulink, tetapi dalam blok komponen sistem yang didalam blok subsistem tersebut dilakukan penghapusan terlebih dahulu, seperti yang terlihat pada Gambar 4.3.

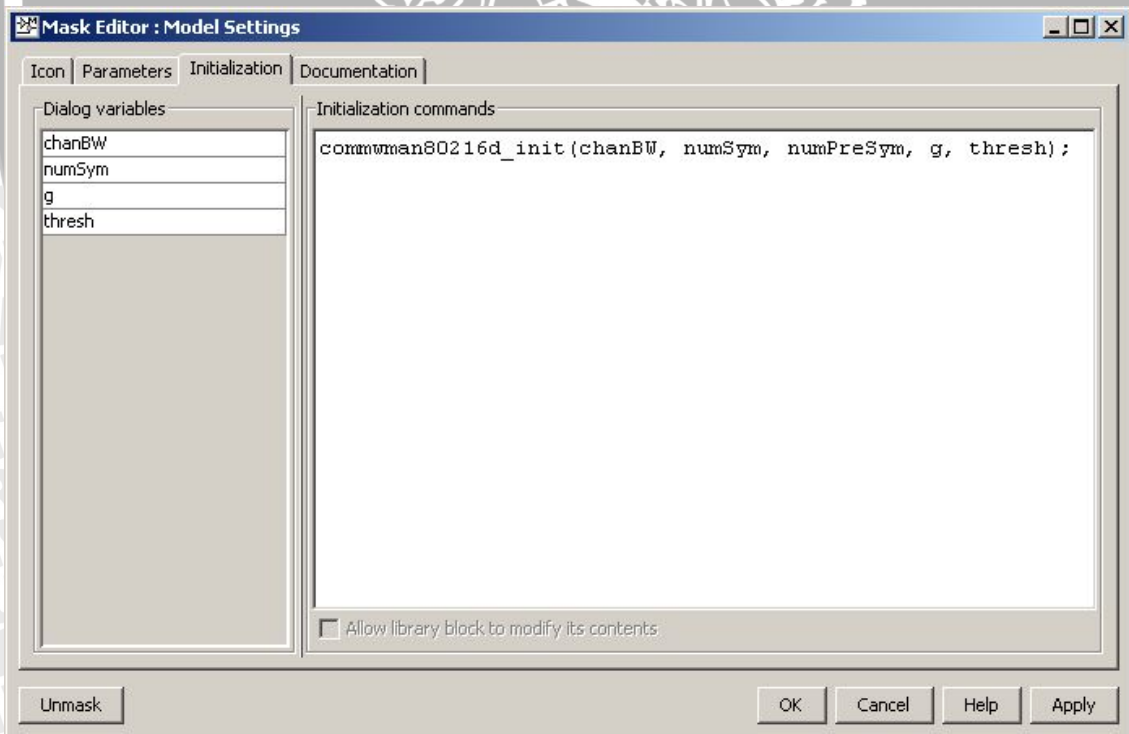


Gambar 4.3 Pembuatan Blok Pengaturan

Setelah blok model subsistem tersebut telah dibuat, maka dilakukan peyisipan parameter-parameter tersebut, yakni dengan cara klik kanan pada blok tersebut kemudian pilih *mask subsystem*. Kemudian pilih *toolbar parameters* untuk menentukan parameter yang nantinya dilakukan eksekusi, dalam hal ini parameter tersebut adalah *bandwidth* kanal, jumlah *symbol* OFDM, *Cyclic prefix* yang digunakan, serta batas SNR yang digunakan untuk penerapan AMC, seperti pada Gambar 4.4 (a). Sedangkan pada kolom *initialization command* diisi nama program m-file yang tadi telah dibuat, beserta parameter yang nantinya dilakukan eksekusi, seperti terlihat pada Gambar 4.4 (b).



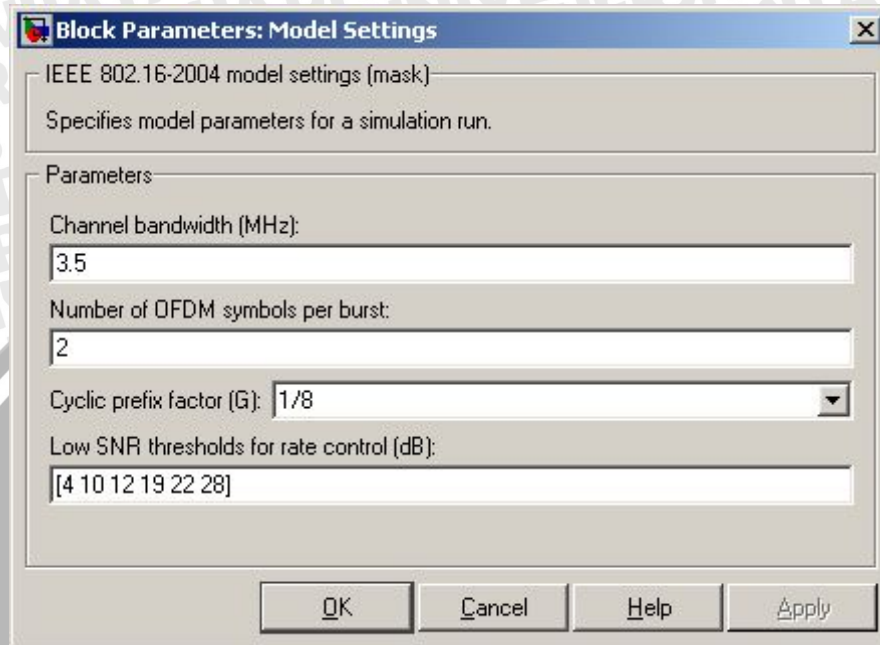
(a)



(b)

Gambar 4.4 (a) Penyisipan Parameter Eksekusi, (b) Inisialisasi

Setelah pengaturan selesai, apabila blok subsistem ini diklik dua kali maka hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.5. Dan nilai dari parameter-parameter tersebut dapat diatur dan diubah.



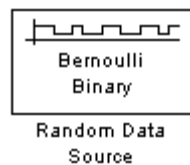
Gambar 4.5 Pengaturan Parameter Pada Blok Model Pengaturan

4.1.1 Pemodelan *Transmitter*

Pemodelan bagian lapisan fisik dari *transmitter* ini terbagi menjadi beberapa bagian, sesuai dengan standar IEEE. Adapun penjelasan dari sub bagian tersebut, sebagai berikut

a. Data Masukan

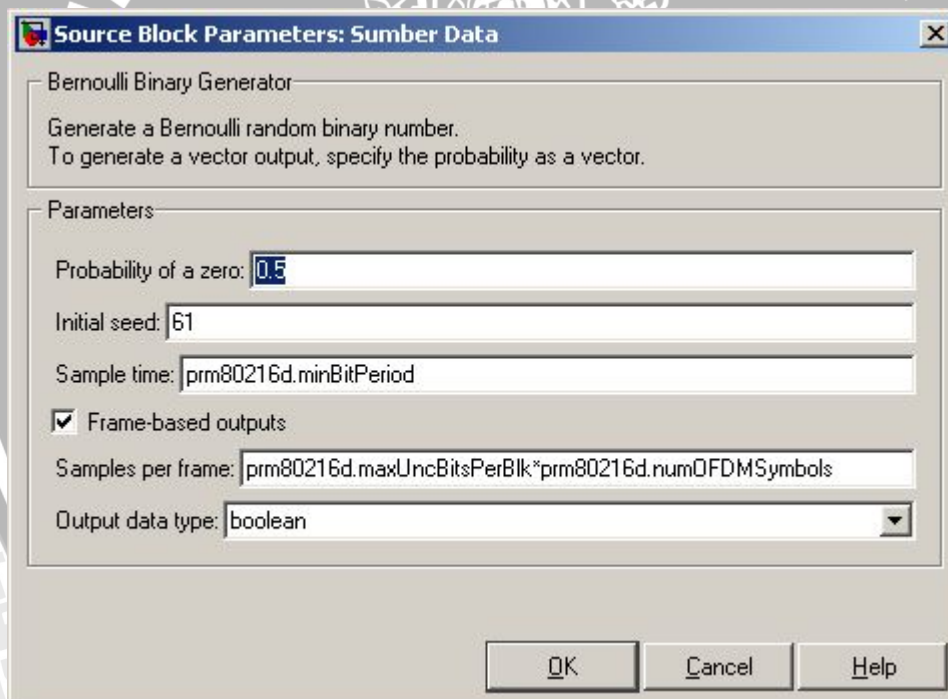
Berdasarkan standar IEEE data masukan berupa bit dan berbentuk frame yang nantinya dilakukan pengacakan terlebih dahulu sebelum data tersebut dikodekan. Oleh karena itu, dalam pemodelan data masukan digunakan pembangkit data acak yakni *Bernoulli Binary Generator*. Blok ini menghasilkan data biner dengan kemungkinan muncul bit "0" adalah sebesar p , sehingga kemungkinan muncul bit "1" adalah $1-p$. Dan untuk mengatur keluaran bit berbentuk *frame*, maka pilih *frame-based output* yakni dengan mencentang kotak disampingnya. Adapun model bloknnya dapat dilihat pada Gambar 4.6, sedangkan pengaturannya dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.6 Blok Model Pembangkit Sumber Data Acak

Sumber : *Communication blockset Simulink*

Pada blok ini terdapat pengaturan yakni probabilitas dari kemunculan bit, *initial seed*, *sample time*, *sample per frame* dan *output data type*. Pada kolom *sample time* menjelaskan tentang periode waktu dari tiap bit, dan pada pemodelan ini digunakan waktu sesuai dengan minimal period bit yang ditransmisikan, dalam hal ini telah diinisialisasi pada program m-file yang terlampir di Lampiran 2, begitu juga *sample per frame*.

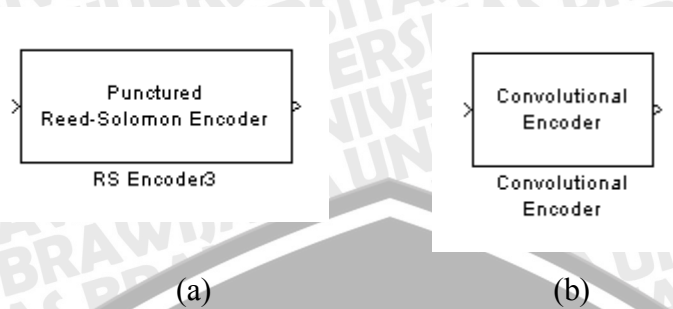


Gambar 4.7 Pengaturan Parameter Sumber Data

b. FEC Encoder

Berdasarkan standar IEEE, FEC terdiri dari *Reed-Solomon encoder* dan Kode Konvolusi. Model *Reed-Solomon encoder* terdapat pada *library* yang telah disediakan program Matlab 7.5.0 mengenai WiMAX 802.16d. Sedangkan kode konvolusi terdapat

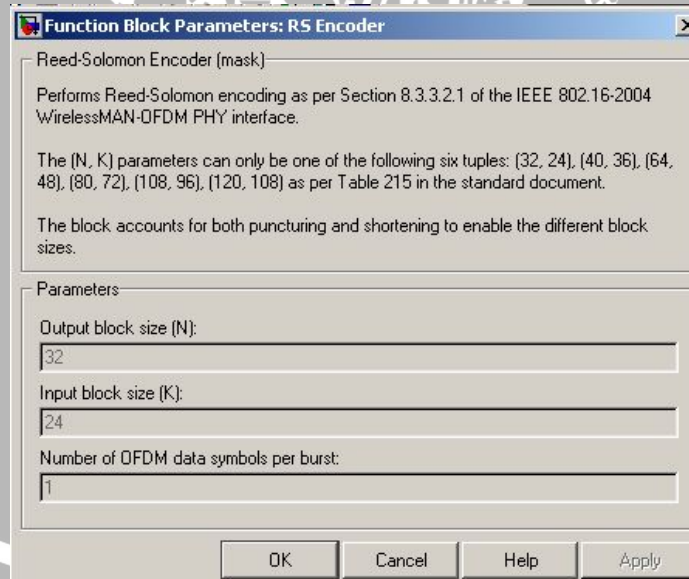
pada *communication blockset* simulink, yakni pada bagian *Error detection and correction*. Adapun kedua model blok ini dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 4.8 (a) Blok Model Reed-Solomon Encoder , (b) Blok Model Pengkodean Konvolusi

Sumber : *Communication blockset Simulink & Library Matlab 7.5.0*

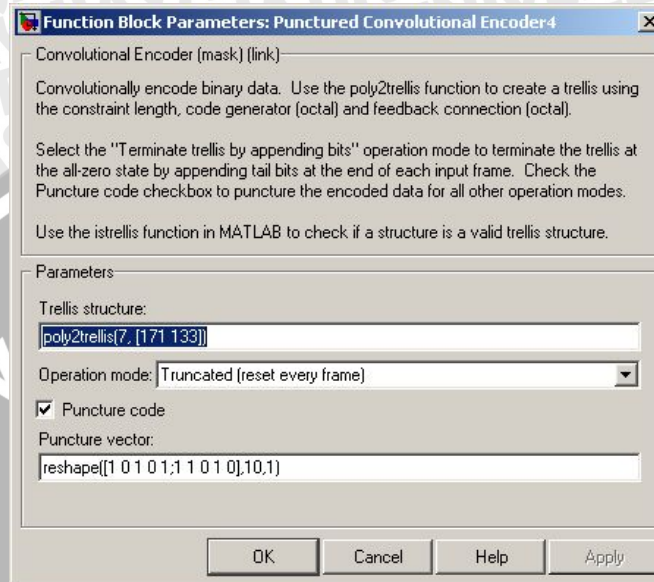
Pada model blok Reed-Solomon *encoder* , terdapat parameter yang harus ditentukan dan harus disesuaikan dengan standar IEEE 802.16d tentang parameter RS *encoder* . Parameter ini dapat dilihat pada Tabel 2.4 tentang pengkodean kanal. Adapun parameter yang harus ditentukan adalah parameter keluaran pengkodean (N) dan masukan pengkodean (K), serta jumlah simbol OFDM yang digunakan. Adapun parameter yang ditentukan pada blok ini dapat dilihat pada Gambar 4.9



Gambar 4.9 Pengaturan Parameter Blok Model Reed-Solomon Encoder

Pengkodean konvolusi digunakan blok model convolutional *encoder* yang telah disediakan pada program Matlab 7.5.0. Pada blok model ini digunakan *trellis structure* parameter yang disesuaikan dengan standar IEEE 802.16d mengenai pengkodean konvolusi. Berdasarkan standar pengkodean konvolusi dengan

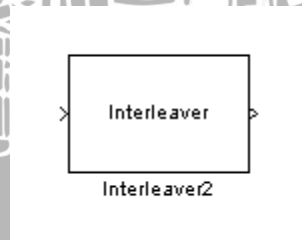
menggunakan panjang bit sebesar tujuh, maka digunakan *generator polynomial* sesuai dengan persamaan 2-1. Begitu juga mengenai parameter *puncturing* pada proses pengkodean konvolusi juga dapat dilihat pada Tabel 2.3. Adapun sebagai contoh pengaturan model pengkodean konvolusi dapat dilihat pada Gambar 4.10



Gambar 4.10 Pengaturan Blok Model Pengkodean Konvolusi dengan CC-Rate 5/6

c. *Interleaver*

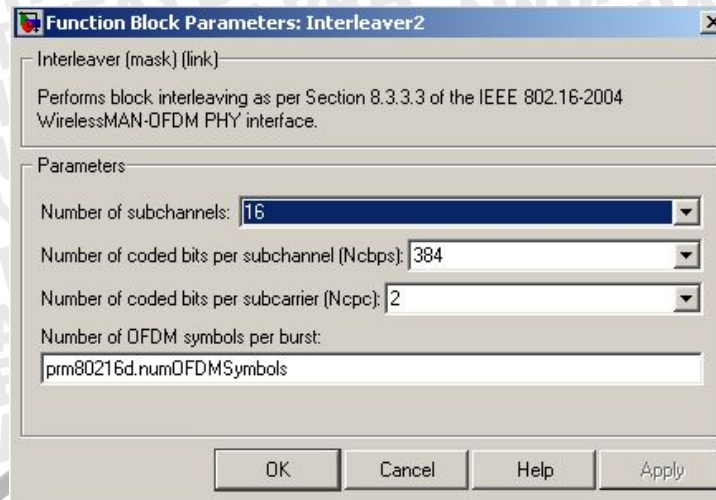
Begitu juga pada *Interleaver*, model blok ini juga disediakan pada *library* Matlab 7.5.0. seperti terlihat pada Gambar 4.11



Gambar 4.11 Blok Model *Interleaver*

Sumber : *Library* Matlab 7.5.0

Pada model blok *Interleaver* ini terdapat beberapa parameter-parameter yang harus diatur. Adapun pengaturan blok model dapat dilihat pada Gambar 4.12



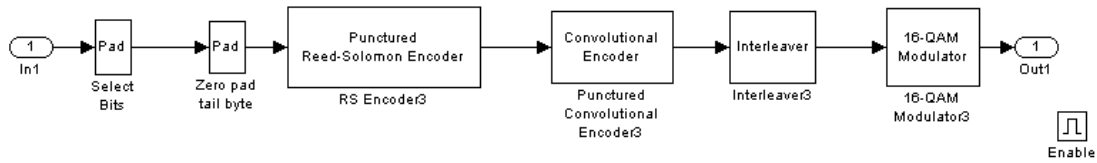
Gambar 4.12 Pengaturan Blok Model *Interleaver*

Pada Gambar 4.12 terlihat parameter-parameter *Interleaver*, yakni jumlah bit yang dikodekan per *subchannel* (N_{cbps}) dan jumlah bit yang dikodekan per *carrier* (N_{cps}), jumlah subchannel yang digunakan, kemudian jumlah simbol OFDM per burst. Pengaturan parameter-parameter ini harus didasarkan pada standar IEEE 802.16d, yakni pada Tabel 2.5 tentang ukuran blok *Interleaver*.

d. *Modulator*

Modulasi pada WiMAX mempunyai empat macam modulasi, seperti yang telah dijelaskan pada bagian 2.2.5.1. Adapun *modulator* yang digunakan adalah BPSK, QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Dari keluaran beberapa *modulator* inilah kemudian digabung atau dikombinasikan menjadi satu keluaran dengan menggunakan blok merge yang sudah terdapat di fasilitas simulink.

Adapun standar modulasi dan kecepatan pengkodean berdasarkan IEEE 802.16d dapat dilihat pada Tabel 2.4, yakni pada bagian 2.2.5.1. Oleh karena itu dalam pemodelan ketiga blok model tersebut, yakni *FEC encoder*, *Interleaver* dan *modulator* dijadikan menjadi sebuah blok sistem yang didasarkan pada Tabel 2.4. Adapun contoh model blok sistem modulasi 16-QAM dengan kecepatan pengkodean $\frac{1}{2}$ dapat dilihat pada Gambar 4.13

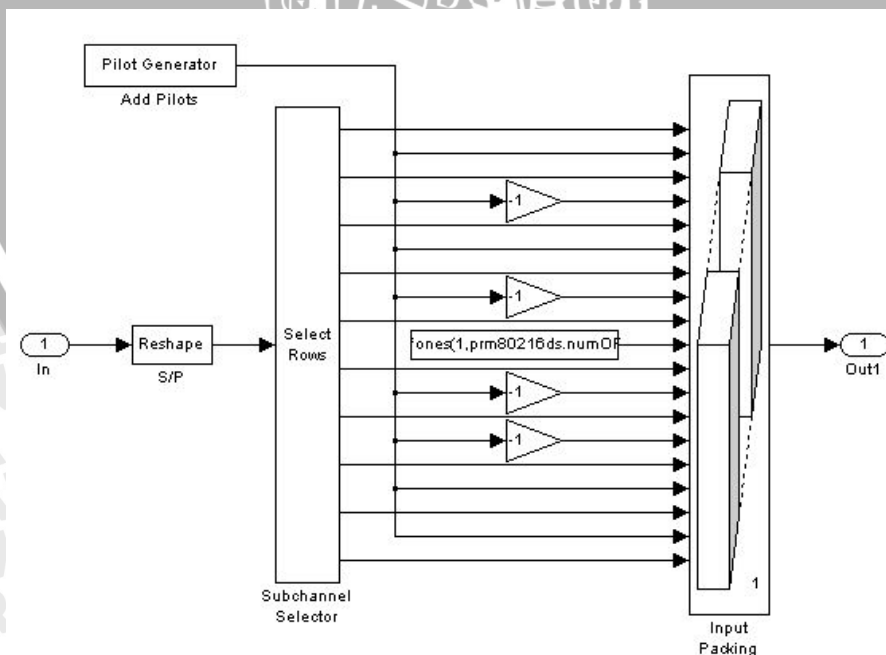


Gambar 4.13 Model Blok Sistem 16-QAM dengan Kecepatan Pengkodean $\frac{1}{2}$
Sumber : Hasil Pemodelan

Pada model blok sistem yang terlihat pada Gambar 4.13, terdapat dua blok pada yang berfungsi untuk menyeleksi bit dan penambah bit. Adapun blok model dari *FEC Encoder* , *Interleaver* dan *Modulator* secara keseluruhan terdapat pada Lampiran 3.

e. *Pilot Insertion* dan Penambahan DC carrier (*IFFT Input packing*)

Pada blok ini sinyal yang telah dimodulasi, akan ditambahkan sinyal pilot dan DC carrier, sesuai dengan indeks yang telah ditetapkan pada standar WiMAX 802.16d. Adapun indeks sinyal pilot dapat dilihat pada Tabel 2.6 mengenai parameter *symbol* OFDM, sedangkan indeks dari DC carrier terdapat pada indeks “0”. Tetapi dalam pemodelan di Matlab indeks sinyal harus bernilai positif, maka dalam penentuan indeks dimulai dengan indeks “1”. Adapun pemodelannya dapat dilihat pada Gambar 4.14

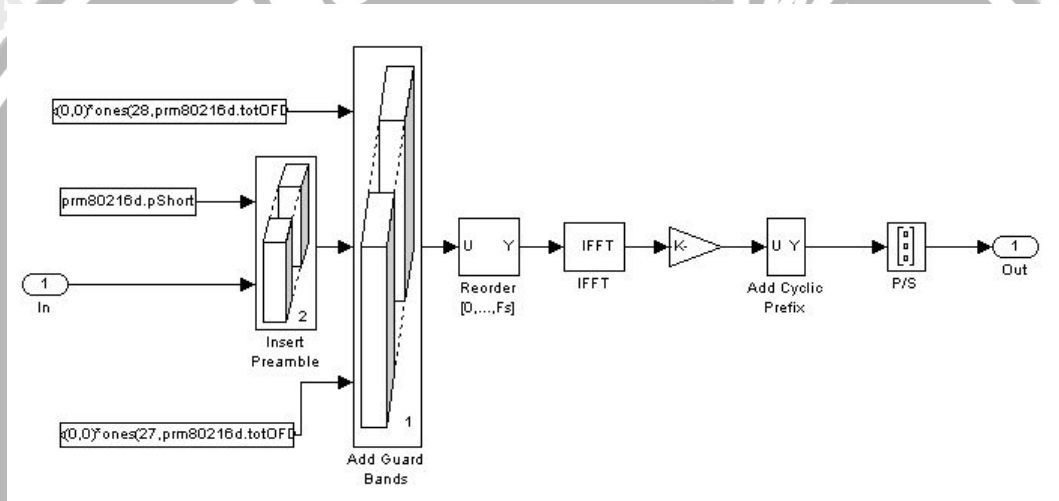


Gambar 4.14 Model Blok Sistem *Pilot Insertion* dan Penambahan DC Carrier
Sumber : Hasil Pemodelan

Dalam model blok sistem ini, pada awalnya masukan data secara serial diubah menjadi parallel, yakni dengan ditambahkan blok *reshape* yang berfungsi mengubah serial ke parallel. Pada blok ini ditentukan indeks dari masing-masing masukan sinyal, dan tergantung dari sinyal pilot dan DC *carrier*.

f. *Transmitter* OFDM

Pada bagian *transmitter* OFDM ini terdapat bagian utama dari proses OFDM yakni proses IFFT dan penambahan *Cyclic prefix*, tetapi sebelum kedua proses tersebut, setiap simbol data akan ditambah *preamble* dan *guard band*. Adapun model blok sistem *transmitter* OFDM dapat dilihat pada Gambar 4.15



Gambar 4.15 Model Blok Sistem *Transmitter* OFDM

Sumber : Hasil Pemodelan

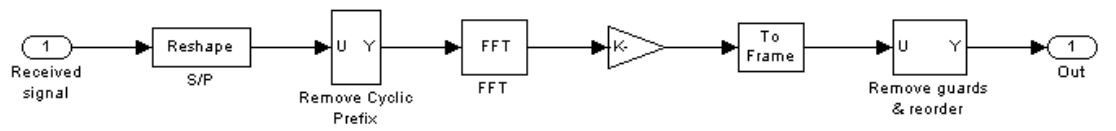
Pada blok sistem *transmitter* OFDM, spesifikasi *preamble* dan *guard band* akan dijelaskan pada bagian pembahasan.

4.1.2 Pemodelan Receiver

Pemodelan lapisan fisik bagian *receiver* juga terbagi menjadi beberapa bagian, adapun penjelasan dari bagian-bagian tersebut adalah sebagai berikut

a. OFDM Receiver

Proses yang terjadi pada bagian OFDM *receiver* merupakan kebalikan dari proses yang terjadi pada bagian OFDM *transmitter*, adapun proses tersebut adalah proses pembuangan *guard band*, pembuangan *Cyclic prefix* dan proses FFT. Sehingga sinyal keluaran dari OFDM *receiver* ini adalah sinyal dalam domain frekuensi. Adapun model blok sistem OFDM *receiver* dapat dilihat pada Gambar 4.16.

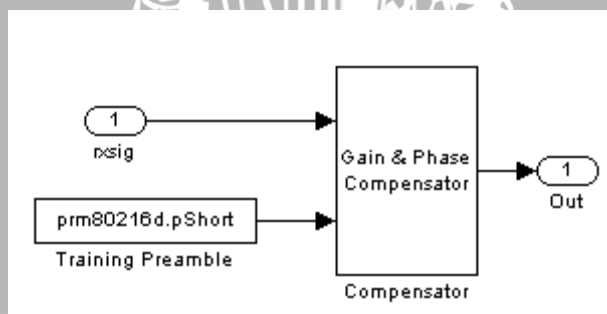


Gambar 4.16 Model Blok Sistem OFDM Receiver

Sumber : Hasil Pemodelan

b. Pembuangan DC carrier dan Kompensasi Penguatan

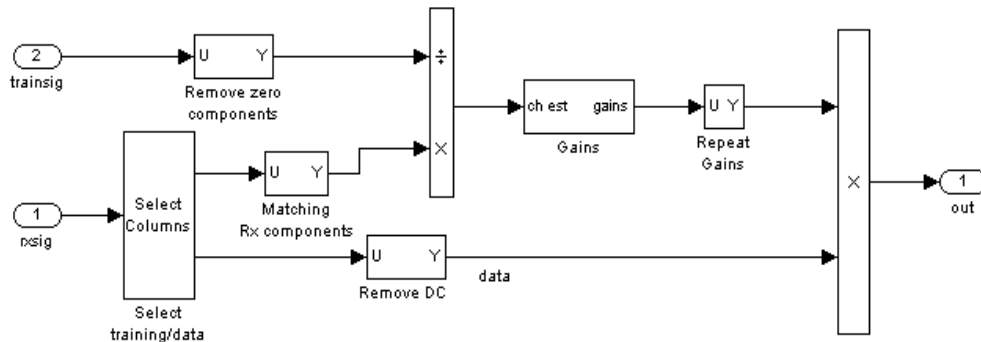
Pada blok ini dilakukan pembuangan DC *carrier* dan penguatan sinyal. Adapun model blok sistem ini dapat dilihat pada Gambar 4.17



Gambar 4.17 Model Blok Sistem Pembuangan DC Carrier dan Kompensasi Penguatan

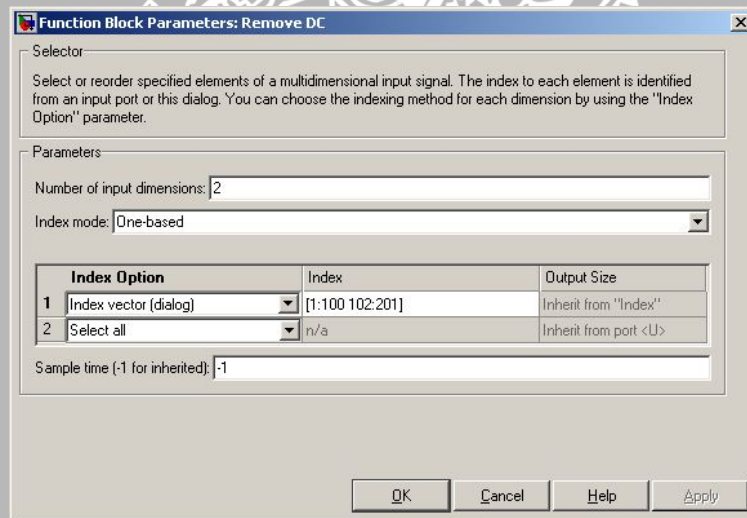
Sumber : Hasil Pemodelan

Adapun blok kompensator sendiri dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Model Blok Sistem Kompensator Penguatan
 Sumber : Hasil Pemodelan

Pada model sistem tersebut terdapat pengaturan sinyal yang dipilih, adapun pembuangan DC *carrier* dilakukan dengan tidak meloloskan sinyal dengan indeks 101, seperti terlihat pada Gambar 4.19.

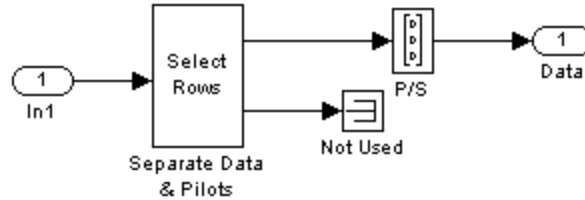


Gambar 4.15 Pengaturan Pembuangan DC Carrier

Sedangkan penguatan sinyal dilakukan dengan mengestimasi kanal, yakni dengan membandingkan *preamble* asal dengan *preamble* sinyal yang diterima oleh *receiver*. Kemudian hasil perbandingan ini dijadikan sebagai faktor penguat, yakni dengan cara mengalikan faktor tersebut dengan sinyal yang diterima, seperti terlihat pada blok sistem Gambar 4.19.

c. Pemisahan sinyal pilot dan data

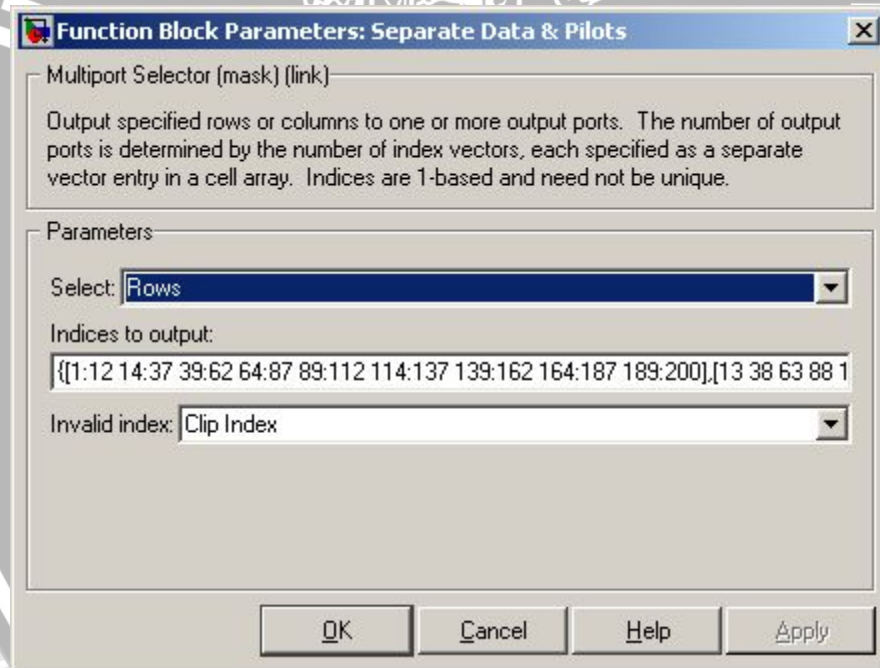
Pada blok ini didapatkan sinyal data akan dipisahkan dengan sinyal pilotnya. Adapun blok sistem dapat dilihat pada Gambar 4.20



Gambar 4.20 Model Blok Sistem Pemisahan Sinyal Pilot Dan Data

Sumber : Hasil Pemodelan

Pemisahan dilakukan dengan memilih sinyal data dan pilot sesuai dengan indeks sinyal masing-masing, kemudian meloloskan sinyal data tetapi tidak meloloskan sinyal pilot. Adapun pengaturan pemilihan sinyal dapat dilihat pada Gambar 4.21

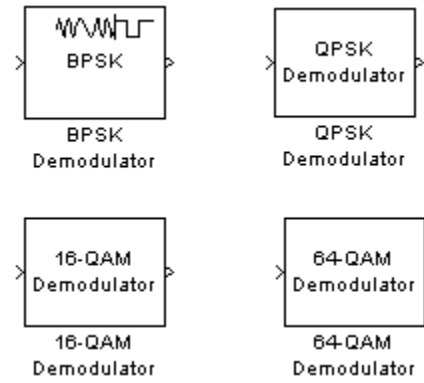


Gambar 4.21 Pengaturan Pemisahan Sinyal Data dan Pilot

d. Demodulator

Pada blok ini akan dilakukan demodulasi sesuai dengan modulasi yang digunakan, yakni Demodulator BPSK, QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Adapun blok demodulator yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.22





Gambar 4.22 Model Blok Demodulator

Sumber : Library Matlab 7.5.0

e. DeInterleaver

Pada blok ini merupakan kebalikan dari proses *Interleaver* pada *transmitter*, adapun pengaturan yang dilakukan sama dengan pengaturan yang dilakukan pada blok *Interleaver*. Adapun model blok *deInterleaver* dapat dilihat pada Gambar 4.23

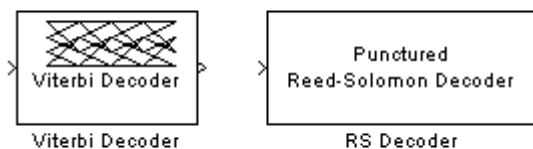


Gambar 4.23 Model Blok DeInterleaver

Sumber : Library Matlab 7.5.0

f. FEC Decoder

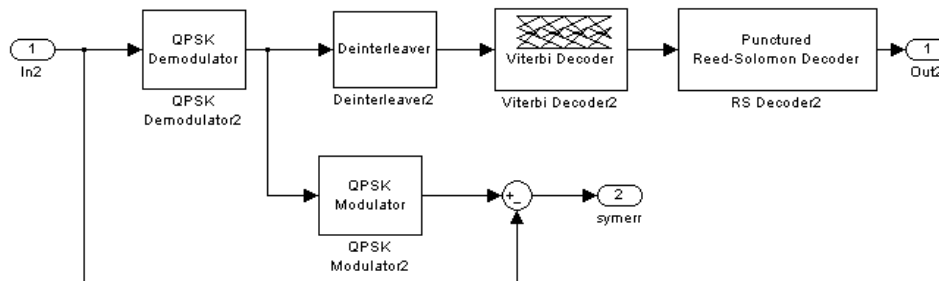
Pada proses *Decoder* digunakan blok *Viterbi Decoder* dan *Reed-Solomon Decoder*. *Viterbi Decoder* merupakan blok yang melakukan menerjemahkan (decode) input *symbol* menjadi kode biner. Kedua blok ini telah disediakan di *library* Matlab 7.5.0. Adapun model blok tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.24



Gambar 4.24 Model Blok Viterbi Decoder dan RS Decoder

Sumber : Communication blockset Simulink & Library Matlab 7.5.0

Dalam pemodelan sistem komunikasi ini, model blok *demodulator* disesuaikan dengan kecepatan pengkodean, seperti pada bagian *transmitter*. Adapun contoh blok sub sistem dari *demodulator* QPSK dengan kecepatan pengkodean $\frac{3}{4}$ dapat dilihat pada Gambar 4.25



Gambar 4.25 Model Blok Sistem Demodulator QPSK dengan Kecepatan Pengkodean $\frac{3}{4}$

Sumber : Hasil Pemodelan

Adapun blok model dari *FEC Decoder*, *Deinterleaver* dan *RS-Decoder* secara keseluruhan dapat dilihat di Lampiran 3.

g. Data keluaran

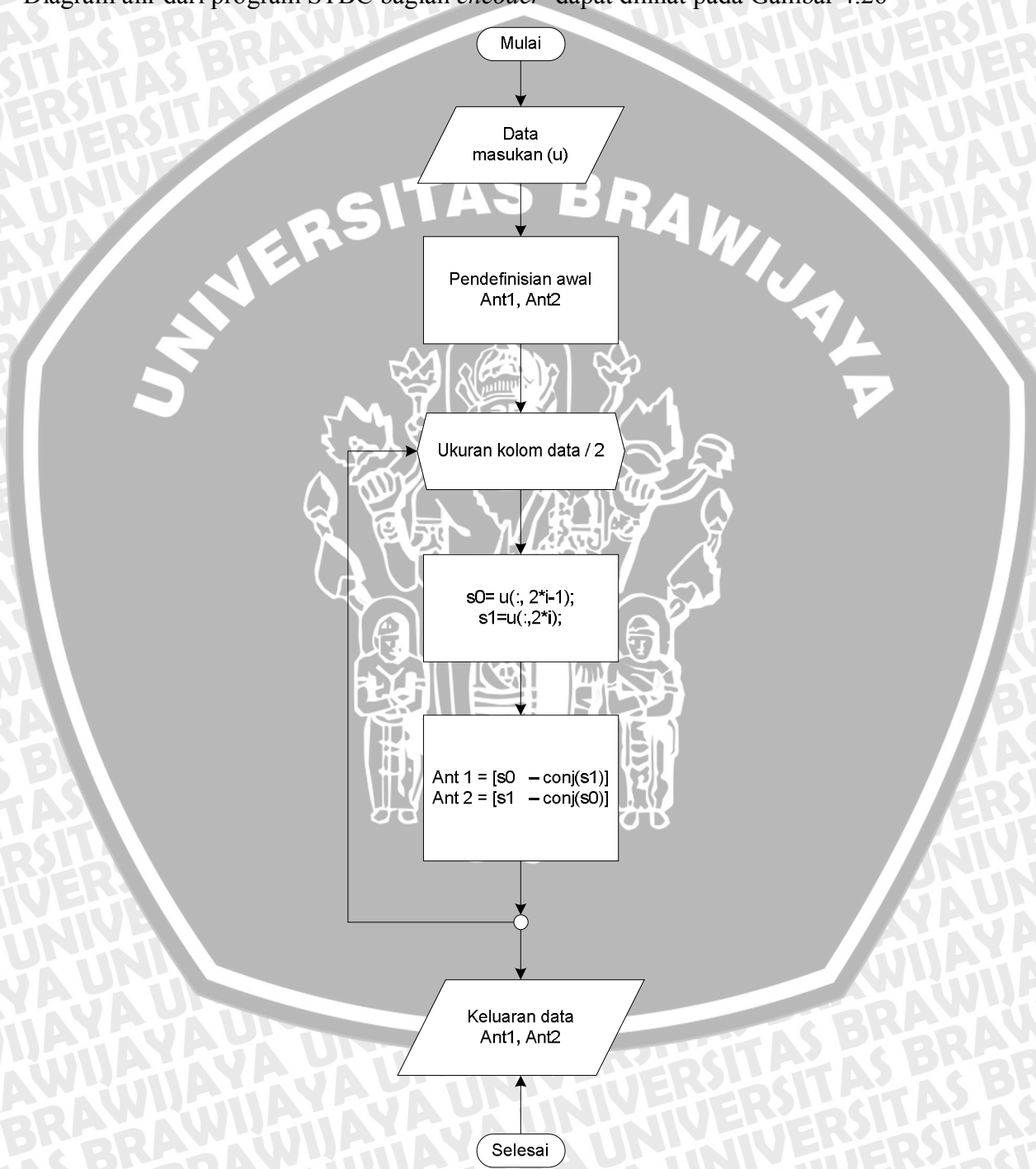
Data keluaran merupakan data biner yang merupakan keluaran dari blok *Decoder* .

4.1.3 Pemodelan Space-Time Block Code

Space-time block code merupakan salah satu teknik diversity yang digunakan untuk meningkatkan performansi dari suatu sistem komunikasi. Teknik ini memungkinkan untuk menggunakan lebih dari satu antena *transmitter* . Berdasarkan perkembangannya teknik ini mempunyai beberapa metode yan diterapkan. Salah satu metode yang diterapkan adalah Metode Alamouti.

Pemodelan STBC dengan menggunakan Metode Alamouti didasarkan pada persamaan 2-16. Konsep dasar dari teknik ini adalah sebuah *transmitter* mentransmisikan dua simbol kompleks (s_0 dan s_1). Pemodelan ini dilakukan dengan membuat blok STBC, dengan memanfaatkan fasilitas Matlab, yakni *Embedded Matlab*, baik pada bagian *encoder* maupun *Decoder* nya. *Embedded Matlab* merupakan salah satu fasilitas Matlab yang mendukung untuk membuat model sistem dengan mendiskripsikannya dalam sebuah kode program.

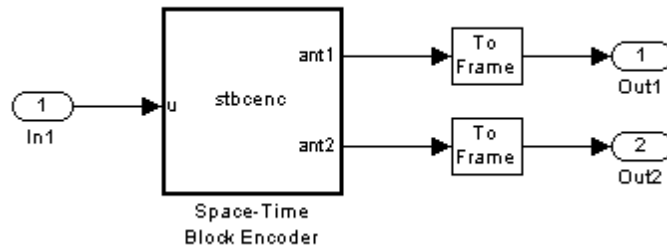
Keluaran masing STBC tersebut akan ditransmisikan dengan OFDM transmitter, sehingga OFDM transmitter berjumlah dua buah, tetapi perbedaannya adalah terdapat pada penyisipan *guard band*. Pada OFDM transmitter pertama, *preamble* yang disisipkan adalah *preamble even*, sedangkan yang kedua adalah *preamble odd*. Seperti yang dijelaskan pada bagian 4.2.1 mengenai OFDM transmitter. Diagram alir dari program STBC bagian *encoder* dapat dilihat pada Gambar 4.26



Gambar 4.26 Diagram Alir Pemodelan STBC

Sumber : Hasil Perancangan

Adapun hasil pemodelan dapat dilihat pada Gambar 4.27

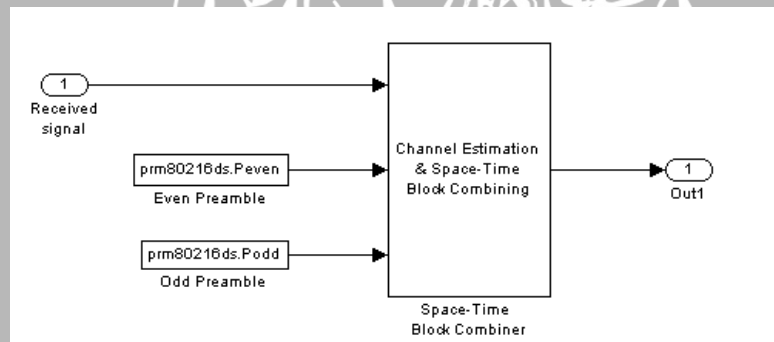


Gambar 4.27 Model Blok STBC Encoder

Sumber : Hasil Pemodelan

Adapun listing program *Embendedd* Matlab dapat dilihat pada Lampiran 3.

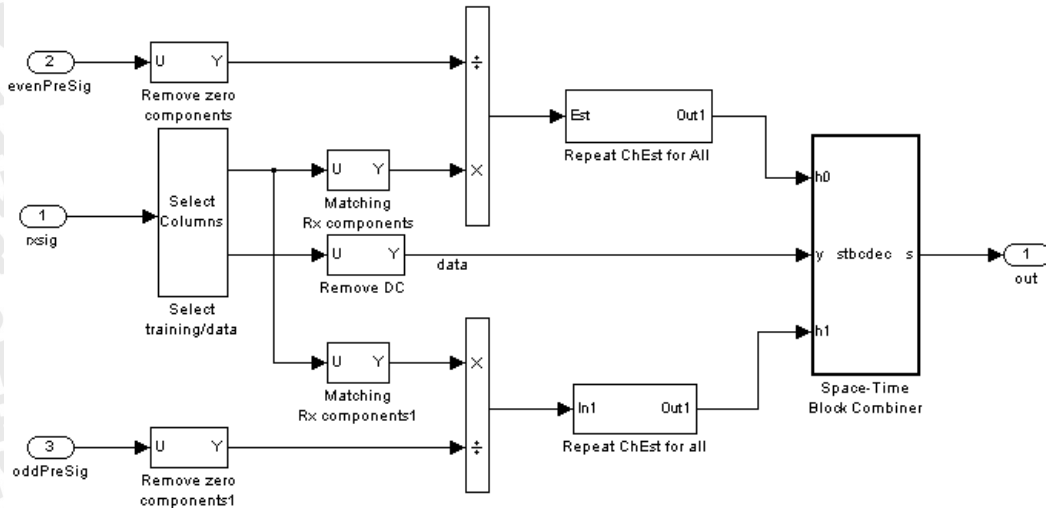
Pada *receiver*, terdapat *combiner* yang berfungsi sebagai mengkombinasikan data sinyal yang telah ditransmisikan. Pada *combiner* ini juga didasarkan pada proses dalam mendapatkan sinyal asli, yakni sesuai dengan penurunan persamaan 2-21. Tetapi sebelum mendapatkan sinyal tersebut, dilakukan estimasi kanal terlebih dahulu, yakni dengan cara membandingkan sinyal *preamble* yang diterima oleh *receiver* dengan *preamble* awal. Adapun blok sistem *STBC Decoder* dapat dilihat pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28 Model Blok STBC Combiner

Sumber : Hasil Pemodelan

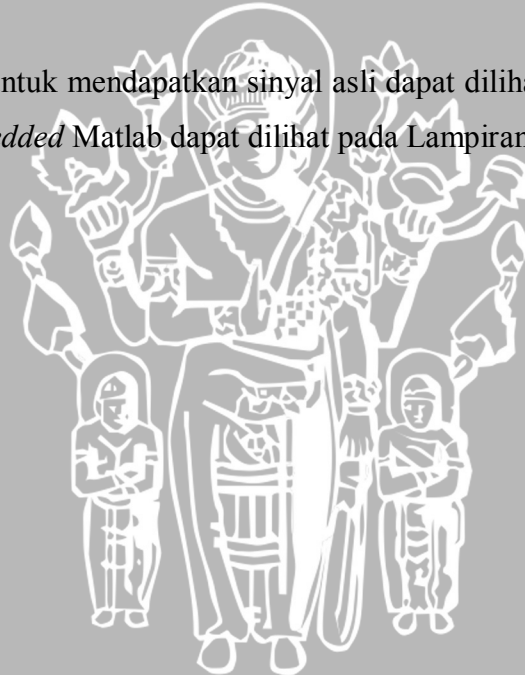
Adapun proses estimasi kanal, prosesnya sama dengan estimasi kanal apabila tidak menggunakan STBC. Dalam prosesnya juga terdapat pembuangan *DC carrier*. Adapun lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.29

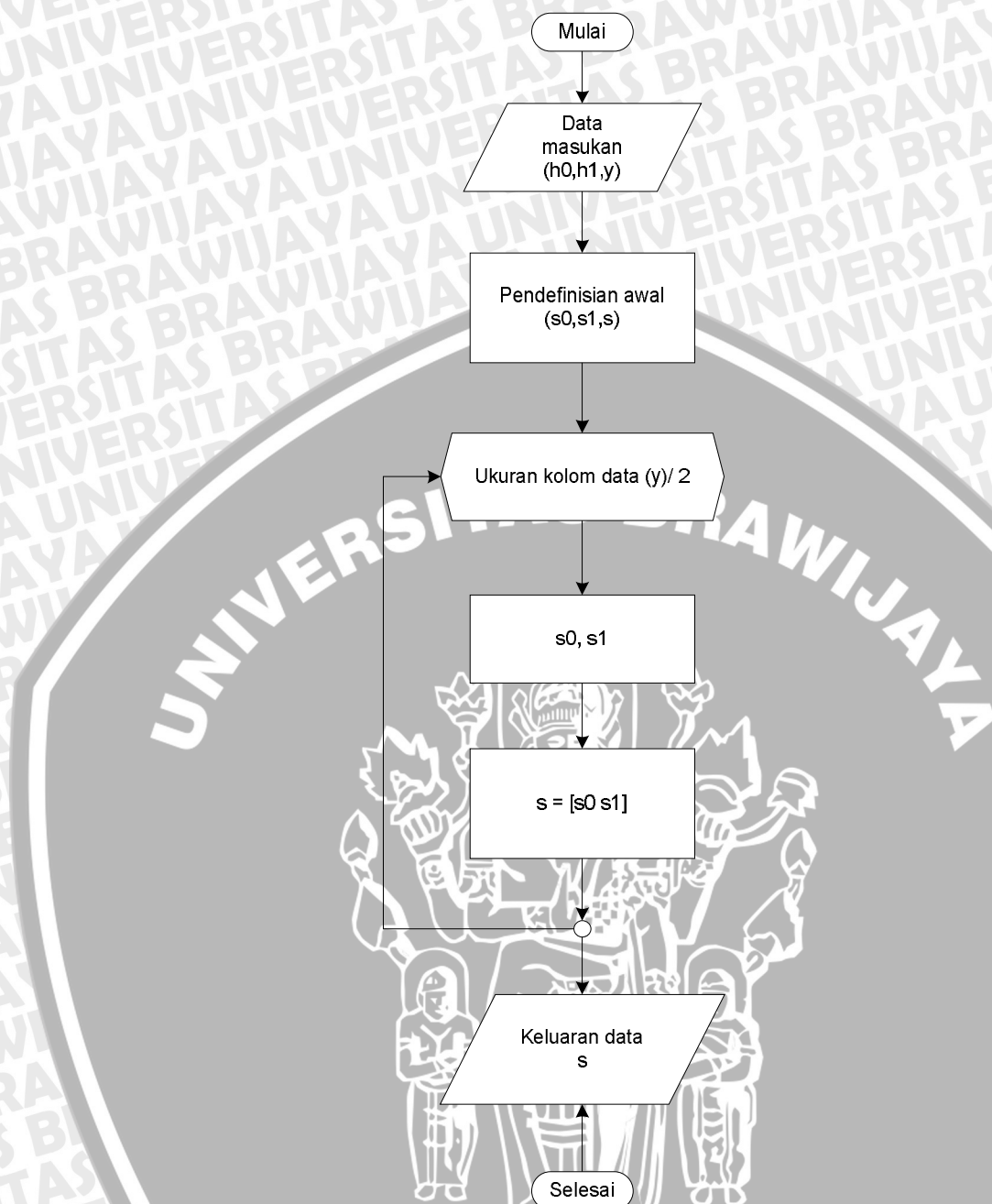


Gambar 4.29 Model Blok Sistem Estimasi Kanal Dan Pembuangan DC Carrier

Sumber : Hasil Pemodelan

Sedangkan diagram alir untuk mendapatkan sinyal asli dapat dilihat pada Gambar 4.30, dan listing program *Embedded Matlab* dapat dilihat pada Lampiran 4.





Gambar 4.30 Diagram Alir Estimasi Sinyal Asli

Sumber : Hasil Perancangan

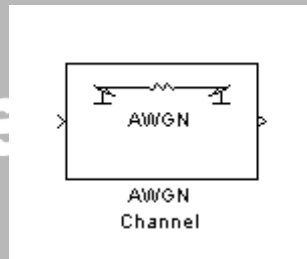
4.2 Pemodelan Kanal Propagasi

Kanal propagasi diperlukan untuk mengetahui suatu performansi sistem komunikasi. Dalam komunikasi *wireless*, kanal propagasi mempunyai karakteristik yang tidak dapat ditebak, atau bersifat acak. Oleh karena itu diperlukan permodelan kanal propagasi. Pada skripsi ini, model kanal yang digunakan ada tiga model, yakni kanal AWGN, kanal Rician *fading*, dan kanal Rayleigh *fading*.

Adapun penjelasan dari masing-masing pemodelan kanal propagasi tersebut, dijelaskan pada sub bab berikut.

4.2.1 Pemodelan Kanal AWGN

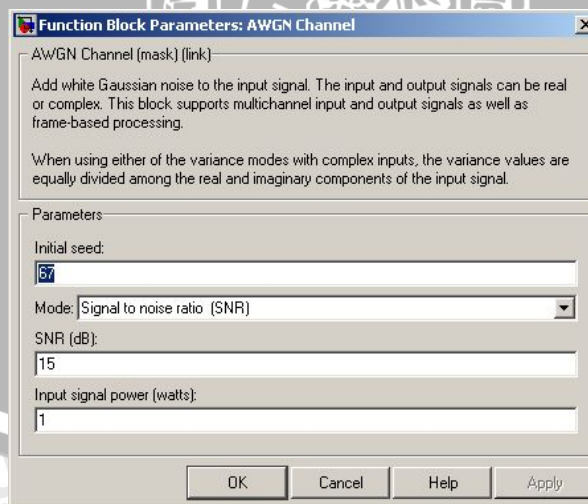
Seperti diketahui sebelumnya, bahwa kanal AWGN merupakan kanal ideal dalam sistem komunikasi *wireless* yang memiliki *noise* AWGN. Pada pemodelan kanal AWGN ini, digunakan fasilitas kanal yang telah disediakan oleh Matlab, yakni pada bagian *communication blockset*, seperti terlihat pada Gambar 4.31



Gambar 4.31 Blok Model Kanal AWGN

Sumber : *Communication blockset* Simulink

Kanal ini juga menyatakan besar level SNR pada sebuah kanal propagasi, oleh karena itu, mode yang digunakan dalam simulasi ini adalah mode SNR, dan dalam simulasi nantinya dilakukan perubahan nilai SNR. Adapun parameter-parameter yang diatur pada kanal AWGN dapat dilihat pada Gambar 4.32



Gambar 4.32 Parameter Pengaturan Blok Kanal AWGN

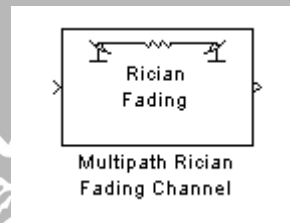
4.2.2 Pemodelan Kanal Rician *Fading*

Kanal Rician terjadi apabila dalam komunikasi *wireless* tersebut masih terdapat sinyal dominan atau sinyal LOS, disamping sinyal pantulan lainnya. Oleh karena itu

dalam pengujian performansi komunikasi WiMAX 802.16d diperlukan pemodelan kanal yang terdistribusi secara Rician.

Model kanal Rician ini merupakan salah satu dari model kanal *multipath*, disamping kanal Rayleigh. Pada model ini terdapat parameter faktor k , yang menyatakan rasio perbandingan antara sinyal langsung (LOS) dan sinyal pantulan.

Pemodelan kanal ini, digunakan model kanal Rician yang telah disediakan pada Matlab, yakni pada bagian *communication blockset*, seperti terlihat pada Gambar 4.33. Pada model kanal ini, terdapat parameter yang menentukan banyaknya lintasan sinyal, parameter tersebut adalah *delay vector* dan *gain vector*. Parameter *delay vector* menyatakan besar *delay* dalam sekon yang dialami oleh sinyal pada lintasan tertentu, sedangkan parameter *gain vector* menyatakan besar penguatan dalam dB, yang dialami oleh sinyal pada lintasan tertentu.



Gambar 4.33 Model Kanal Rician Fading

Sumber : *Communication blockset Simulink*

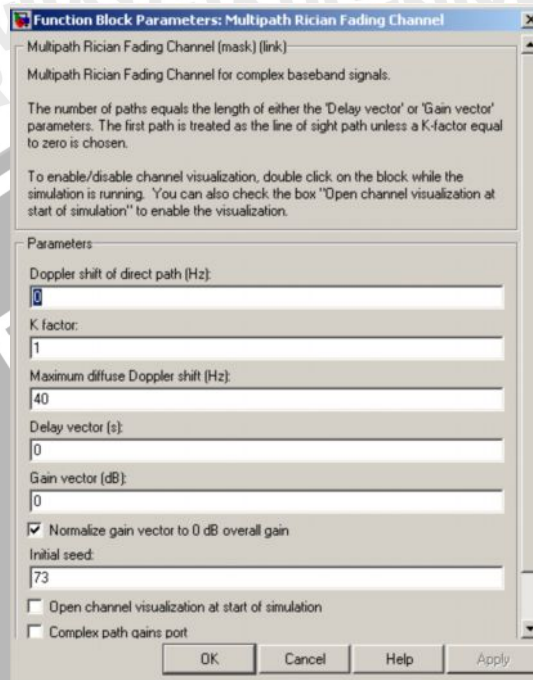
Adapun standar yang bersumber dari Matlab, yakni dalam menentukan nilai parameter-parameter pada kanal Rician,

- *K-factor*
K-factor merupakan rasio yang tidak dinyatakan dalam dB, dan nilai tipikalnya antara 1 – 10.
- *Path delay*
Untuk sinyal yang pertama kali diterima, tipikalnya mempunyai *delay* 0 sekon. *Path delay* tergantung pada tempat terjadinya komunikasi,
Indoor → *Path delay* setelah sinyal yang pertama, tipikalnya antara 1 ns sampai 100 ns.
Outdoor → *Path delay* setelah sinyal pertama, tipikalnya antara 100 ns sampai 10 μ s.
- *Path Gain*
Path gain menyatakan *gain* rata-rata yang dialami oleh sinyal dalam suatu lintasan tertentu. Tipikalnya *Path gain* bernilai 0 dB sampai -20 dB.

- *Maximum doppler shift*

Parameter ini tergantung pada pergerakan *receiver*, dan besarnya dapat diketahui dengan persamaan 2-30

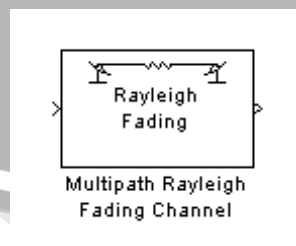
Adapun parameter-parameter yang diatur, dapat dilihat pada Gambar 4.34



Gambar 4. 34 Parameter Pengaturan Blok Kanal Rician *Fading*

4.2.3 Pemodelan Kanal Rayleigh *Fading*

Model kanal Rayleigh merupakan salah satu model kanal *multipath*, dengan karakteristik sinyal yang diterima oleh *receiver* tidak ada sinyal dominan (LOS). Dalam melakukan pemodelan kanal ini, digunakan model kanal *multipath* Rayleigh yang telah disediakan pada program Simulink Matlab, yakni pada *communication blockset*, seperti pada Gambar 4.35

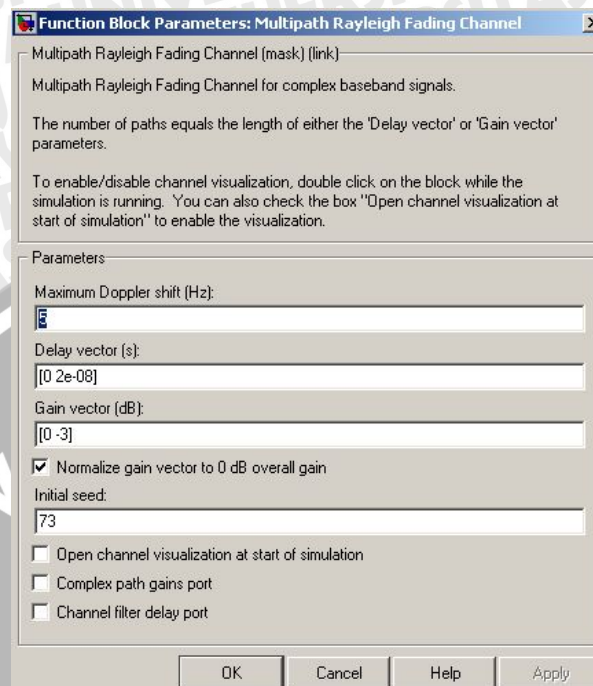


Gambar 4.35 Model Kanal Rayleigh *Fading*

Sumber : *Communication blockset* Simulink

Adapun parameter-parameter yang diatur pada model ini hampir sama dengan model kanal Rician. Perbedaannya terletak pada model kanal Rayleigh tidak ada

pengaturan parameter faktor k dan parameter *Doppler shift* dari suatu sinyal LOS, seperti terlihat pada Gambar 4.36



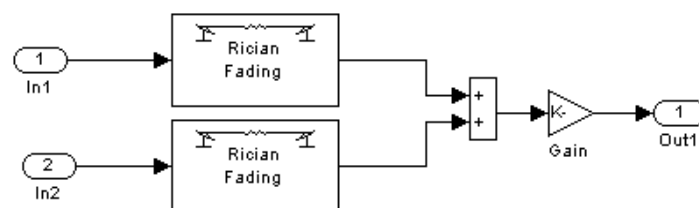
Gambar 4.36 Parameter Pengaturan Blok Kanal Rayleigh Fading

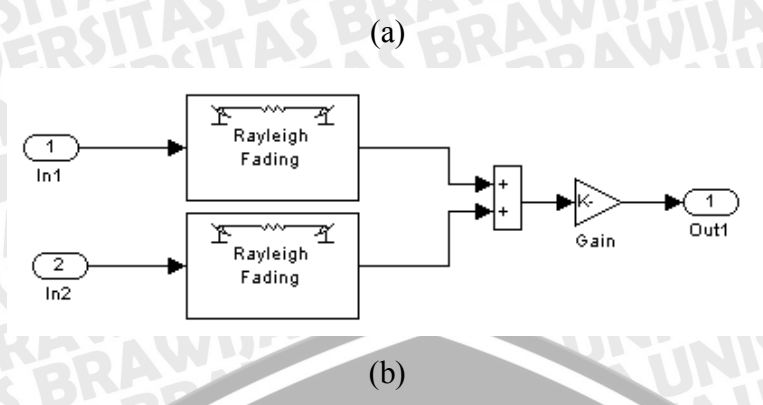
4.2.4 Pemodelan kanal MISO

Kanal MISO (*multiple-input single-output*) digunakan apabila terdapat lebih dari dua buah sinyal yang ditransmisikan oleh *transmitter*, dan terdapat satu sinyal yang harus diterima oleh *receiver*.

Pada sistem komunikasi WiMAX 802.16d yang menerapkan Alamouti-STBC, sebuah *transmitter* mentransmisikan dua buah sinyal. Oleh karena itu, diperlukan pemodelan kanal MISO (2x1) untuk diaplikasikan ke dalam model sistem komunikasi WiMAX 802.16d yang menggunakan teknik STBC.

Pada skripsi ini kanal MISO dimodelkan dua kanal yang identik, jadi dua sinyal tersebut melewati kanal yang identik tapi berbeda jalur. Adapun model kanal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.37





Gambar 4.37 (a) Model Kanal MISO (2x1) Rician *Fading*, (b) Model Kanal MISO (2x1) Rayleigh *Fading*

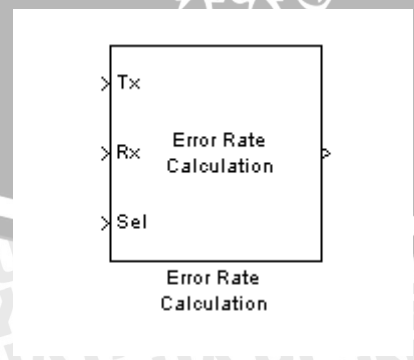
Sumber : Hasil Pemodelan

Terlihat pada Gambar 4.32 terdapat blok *gain*, dan blok ini mengalikan sinyal dengan nilai $1/\sqrt{2}$, sehingga didapatkan nilai efektif sinyal tersebut.

4.3 Pemodelan Pengukuran Performansi

Performansi yang diukur dalam skripsi ini adalah tingkat BER terhadap SNR sebuah kanal propagasi. Pengukuran BER ini didapatkan dengan membandingkan bit yang salah dengan total bit yang diterima. Bit yang salah didapatkan dengan membandingkan bit yang diterima dengan bit yang ditransmisikan. Dalam implementasinya bit yang diterima merupakan hasil penerjemahan oleh FEC *Decoder* pada bagian *receiver*, sedangkan bit yang ditransmisikan adalah bit dari sumber data.

Model blok pengukur BER yang digunakan adalah model pengukur BER yang telah disediakan Matlab, yakni pada bagian *communication blockset*. Adapun blok model pengukur BER dapat dilihat pada Gambar 4.38



Gambar 4.38 Model Blok BER
 Sumber : *Communication blockset* Simulink

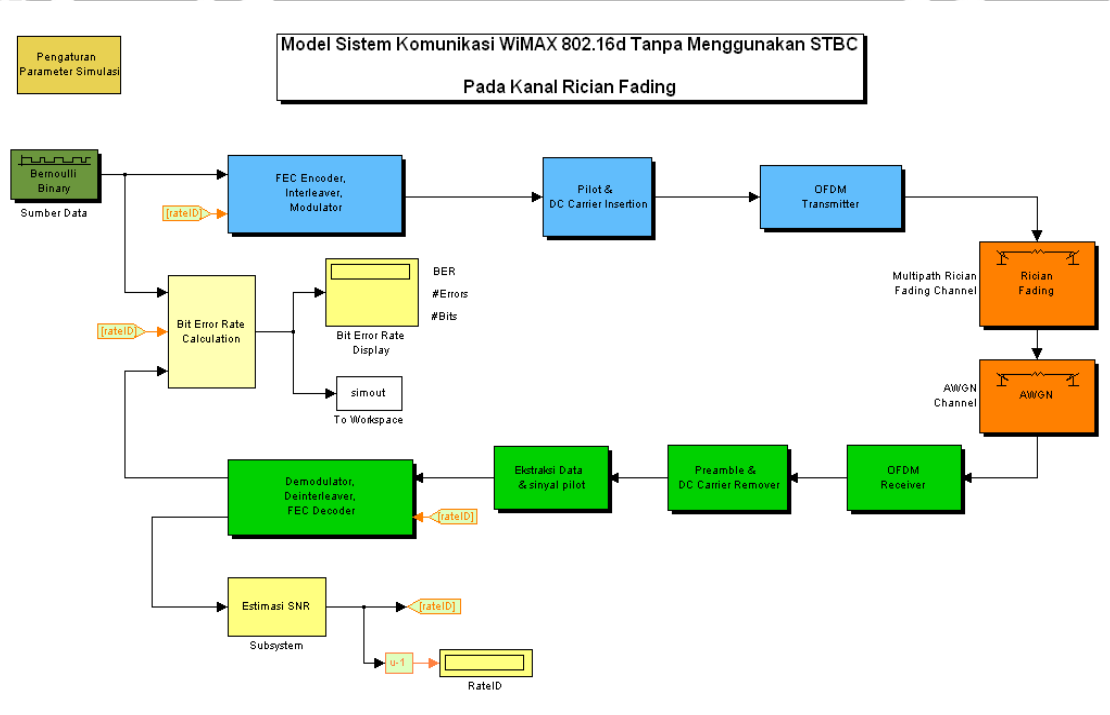


4.4 Model Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d

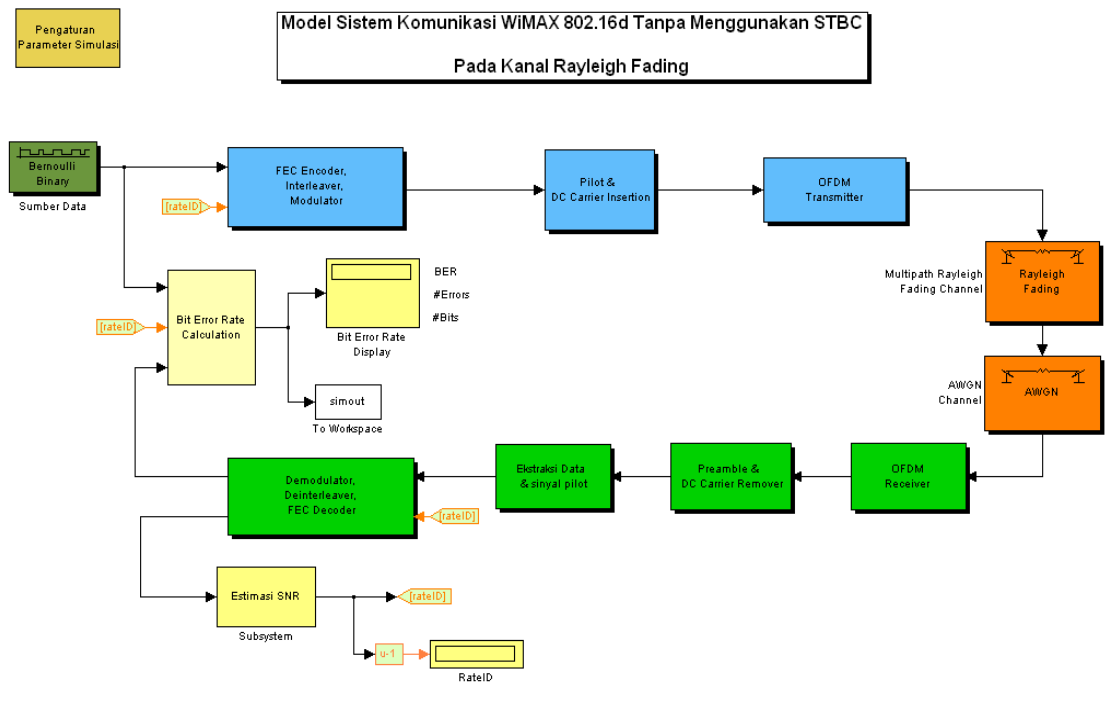
Sistem komunikasi merupakan sistem yang terbentuk atas *transmitter*, *receiver* dan sebuah kanal propagasi. Oleh karena itu, model sistem komunikasi harus mempunyai tiga komponen tersebut. Dan tiga model komponen sistem komunikasi tersebut telah dijelaskan pada sub bab 4.1 dan 4.2. Adapun penjelasan tentang model sistem komunikasi akan dijelaskan pada sub bab berikut.

4.4.1 Model Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d Tanpa STBC

Model sistem komunikasi WiMAX 802.16d tanpa STBC merupakan model awal dari WiMAX 802.16d, yakni tanpa pengoptimasian sistem komunikasi. Adapun model blok diagram simulator sistem komunikasi WiMAX 802.16d tanpa STBC dapat dilihat pada Gambar 4.39



(a)



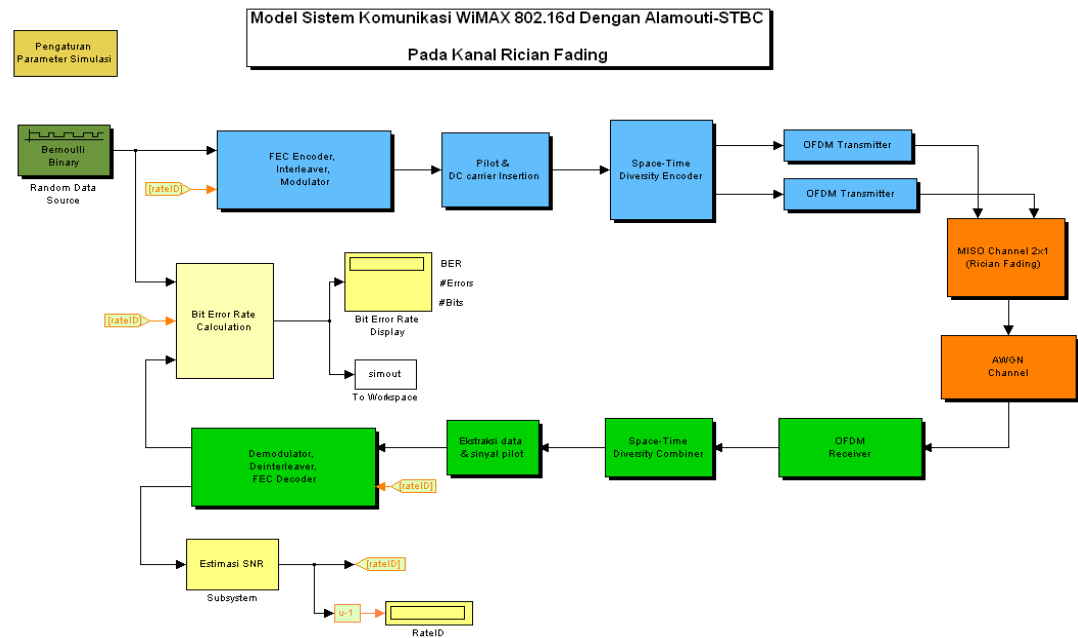
(b)
Gambar 4.39 (a) Model Blok Simulator Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d Pada Kanal Rician Fading, (b) Model Blok Simulator Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d Pada Kanal Rayleigh Fading
 Sumber : Hasil Pemodelan

Terlihat pada Gambar 4.39 bagian blok yang berwarna biru merupakan bagian *transmitter*, dan bagian blok yang berwarna hijau muda merupakan bagian *receiver* dari lapisan fisik WiMAX 802.16d, sedangkan bagian warna orange merupakan kanal uji yang digunakan untuk mengetahui performansi sistem komunikasi WiMAX 802.16d. dalam hal ini parameter kanal uji akan dijelaskan di pembahasan pada skripsi ini. Dan blok model estimasi SNR dapat dilihat pada Lampiran 7.

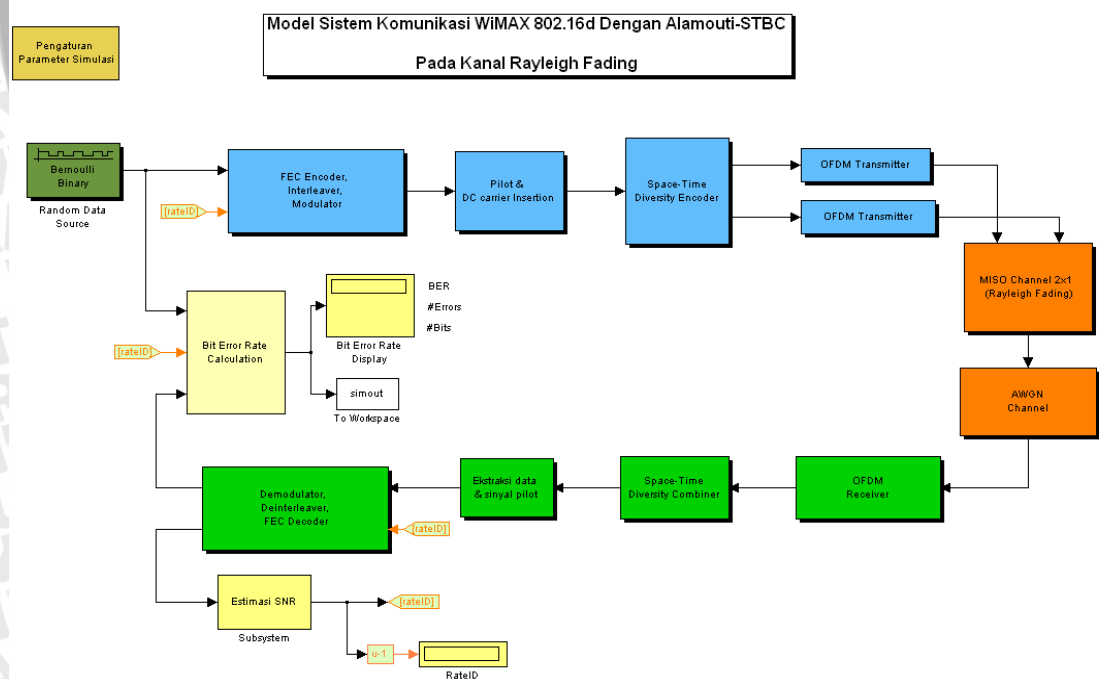
4.4.2 Model Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d dengan STBC

Pada model sistem komunikasi WiMAX dengan menggunakan STBC, terdapat perbedaan pada tiga komponen sistem komunikasi. Pada bagian *transmitter* terdapat blok STBC yang menggunakan Metode Alamouti dan terdapat dua *transmitter* OFDM untuk mengubah menjadi suatu *symbol* OFDM yang siap untuk ditransmisikan. Pada bagian *receiver* pastinya terdapat *combiner* untuk mendapatkan sinyal yang diinginkan. Sedangkan pada bagian kanal propagasi, karena sinyal yang ditransmisikan oleh *transmitter* berjumlah dua sinyal, maka diterapkan MISO (*multiple-input single-output*)

channel. Pada kanal MISO ini diasumsikan kedua sinyal tersebut melewati kanal yang sama, seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 4.3.4. Sedangkan untuk model estimasi SNR dapat dilihat pada Lampiran 7. Adapun model sistem komunikasi ini dapat dilihat pada Gambar 4.40.



(a)



(b)

Gambar 4.40 (a) Model Blok Simulator Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d dengan STBC Pada Kanal Rician *Fading*, (b) Model Blok Simulator Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d dengan STBC Pada Kanal Rayleigh *Fading*

Sumber : Hasil Pemodelan





BAB V PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dilakukan analisis terhadap performansi sistem WiMAX 802.16d yang diperoleh dari hasil simulasi, tetapi terlebih dahulu akan dijelaskan tentang mekanisme proses dari sistem komunikasi WiMAX 802.16d tanpa STBC maupun dengan STBC. Simulasi dilakukan terhadap model sistem lapisan fisik WiMAX 802.16d yang menggunakan konfigurasi *Wireless MAN-OFDM* pada sebuah kanal uji, dengan menggunakan Matlab 7.5.0 (R2007b). Model lapisan WiMAX 802.16d yang dilakukan simulasi pengujian adalah lapisan fisik tanpa teknik STBC dan menggunakan STBC. Kanal uji yang digunakan dalam simulasi adalah kanal AWGN, kanal Rician *fading*, dan kanal Rayleigh *fading*. Dan parameter performansi sistem yang akan dianalisis adalah BER terhadap SNR, sehingga didapatkan perbandingan performansi sistem komunikasi WiMAX 802.16d saat tidak menggunakan teknik STBC dengan saat menggunakan teknik STBC.

5.1 Mekanisme Proses

Berdasarkan pada Gambar 4.1 mengenai blok diagram lapisan fisik sistem komunikasi WiMAX 802.16d, secara garis besar mekanisme proses diawali dengan masukan data yang berupa bit, yang kemudian data berupa bit ini menjadi masukan FEC *encoder*. Pada FEC *encoder* ini data berupa bit akan dikodekan yang nantinya berguna untuk mempermudah pengkoreksian bit data yang salah pada *receiver*. Kemudian setelah dikodekan data bit tersebut masuk ke *interleaver*, di *interleaver* ini ukuran data akan disesuaikan dan dengan *interleaver* ini koreksi kesalahan bit akan lebih efisien. Keluaran dari *interleaver* ini masih dalam bentuk digital (bit).

Bit keluaran dari *interleaver* akan dimodulasikan terlebih dahulu, dalam hal ini modulasi yang digunakan adalah BPSK, QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Sinyal keluaran dari *modulator* tersebut akan ditambahkan sinyal *pilot* dan DC *carrier*. Kemudian sinyal tersebut ditambahkan suatu *guard band* sinyal dan suatu *preamble*.

Setelah itu sinyal tersebut diubah menjadi sinyal dalam domain waktu (proses IFFT), kemudian ditambahkan *cyclic prefix* sesuai dengan yang ditentukan, yang nantinya sinyal tersebut akan ditransmisikan ke *receiver*.

Pada *receiver* sinyal diterima, kemudian *cyclic prefix* pada sinyal tersebut dihapus. Setelah itu sinyal tersebut diubah ke dalam domain frekuensi (proses FFT).

Kemudian *preamble* dan DC *carrier* dari sinyal tersebut dihilangkan, kemudian sinyal tersebut dipisahkan dari sinyal pilot, sehingga didapatkan data sinyal asli. Setelah didapatkan sinyal data aslinya, kemudian sinyal tersebut di demodulasikan, sehingga didapatkan data bit kembali. Bit data tersebut akan dikoreksi dan kemudian diterjemahkan kembali menjadi bit data aslinya.

Sedangkan pada model sistem komunikasi dengan STBC, perbedaannya adalah pada *transmitter* data sinyal yang telah ditambahkan sinyal pilot dan DC *carrier* kemudian tersebut ditransmisikan dengan menyimbolkan sinyal tersebut berdasarkan waktu, adapun proses dari pentransmisian sinyal tersebut didasarkan pada Metode Alamouti. Begitu juga pada bagian *receiver*, untuk mendapatkan sinyal aslinya diperlukan *combiner* dan penerjemah dari sinyal yang dikodekan berdasarkan Metode Alamouti tersebut. Setelah diterjemahkan, proses selanjutnya sama seperti model sistem komunikasi tanpa STBC.

5.2 Parameter Simulasi

Dalam melakukan simulasi pengujian model sistem terdapat beberapa pengaturan terhadap parameter model lapisan fisik dan model kanal uji propagasi, dalam hal ini parameter yang ditentukan didasarkan pada standar IEEE dan asumsi parameter. Dan secara umum simulasi dilakukan dalam waktu 0,025 sekon. Hal ini didasarkan pada kondisi kanal yang acak dan terus berubah tiap waktu, oleh karena itu diasumsikan selama 0,025 sekon karakteristik kanal propagasi tetap, dalam hal ini karakteristik kanal *fading* dan AWGN. Adapun parameter dalam melakukan simulasi adalah sebagai berikut.

5.2.1 Parameter Model Lapisan Fisik

Model lapisan fisik ini meliputi model lapisan pada *transmitter* dan *receiver*. Adapun parameter model lapisan fisik yang ditentukan dapat dilihat pada Lampiran 2. yakni mengenai inisialisasi lapisan fisik. Adapun beberapa spesifikasi parameter lapisan fisik *WirelessMAN-OFDM* dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Spesifikasi Parameter pada Lapisan Fisik *WirelessMAN-OFDM* WiMAX
802.16d

No	Parameter	Spesifikasi	Keterangan
1	<i>Bandwidth</i> kanal	3,5 MHz	Standar BW kanal WiMAX di Indonesia. (sumber : http://www.elektroindonesia.com/seminar/20080814/dirjen-postel.pdf)
2	N_{FFT}	256	Standar IEEE 802.16d
3	N_{data}	192	Standar IEEE 802.16d
4	N_{pilot}	8	Standar IEEE 802.16d
5	Zero DC <i>carrier</i>	1	Standar IEEE 802.16d
6	$N_{guard\ band}$	55	28 band bagian kanan, 27 band bagian kiri (Standar IEEE 802.16d)
7	N_{train}	1	<i>Preamble</i> short, (Lampiran 2)
		2	<i>Preamble</i> even (TX 1), dan <i>Preamble</i> odd (TX 2) → WiMAX 802.16 dengan STBC (Lampiran 2)
8	<i>Sampling</i> faktor (n)	8/7	Standar IEEE 802.16d
9	Faktor <i>cyclic prefix</i> (G)	1/8	Standar IEEE 802.16d
10	Jumlah <i>symbol</i> OFDM per burst	2	Asumsi

Sumber : pemodelan

Sehingga dapat diketahui parameter lapisan fisik lainnya, yakni

- Frekuensi *sampling* (F_s), sesuai dengan persamaan (2-7)

$$F_s = \text{floor} \left[\frac{n \times BW}{8000} \right] \times 8000 \quad \text{Hz}$$

$$F_s = \text{floor} \left[\frac{8/7 \times 3,5 \times 10^6}{8000} \right] \times 8000 \quad \text{Hz}$$

$$F_s = 500 \times 8000 \quad \text{Hz}$$

$$F_s = 4000000 \text{ Hz} = 4 \text{ MHz}$$

- Subcarrier spacing (Δf), sesuai dengan persamaan (2-8)

$$\Delta f = \frac{F_s}{N_{\text{FFT}}} \quad \text{Hz}$$

$$\Delta f = \frac{4 \times 10^6}{256} \quad \text{Hz}$$

$$\Delta f = 15625 \quad \text{Hz}$$

- Waktu simbol yang digunakan (T_b), sesuai dengan persamaan (2.9)

$$T_b = \frac{1}{\Delta f} \quad \text{s}$$

$$T_b = \frac{1}{15625} \quad \text{s}$$

$$T_b = 6,4 \times 10^{-5} \quad \text{s}$$

$$T_b = 64 \mu\text{s}$$

- Waktu CP (T_g), sesuai dengan persamaan (2.10)

$$T_g = G \times T_b \quad \text{s}$$

$$T_g = 0,125 \times \frac{1}{15625}$$

$$T_g = 8 \times 10^{-6} \quad \text{s}$$

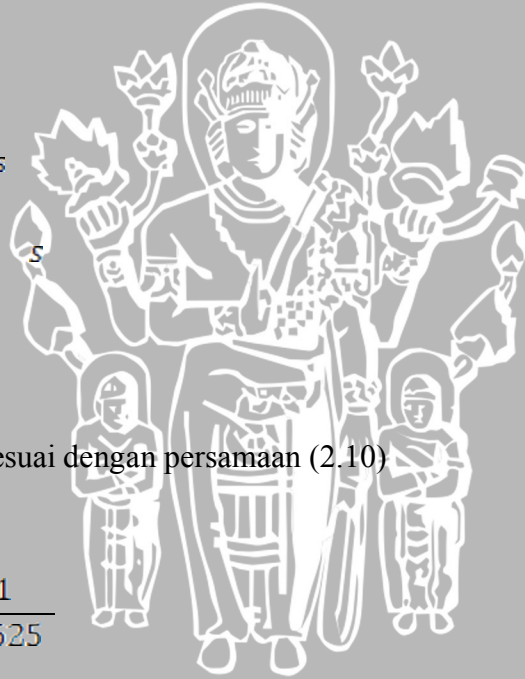
$$T_g = 8 \mu\text{s}$$

- Waktu simbol OFDM, sesuai dengan persamaan (2.11)

$$T_{\text{sym}} = T_b + T_g \quad \text{s}$$

$$T_{\text{sym}} = 64 \mu\text{s} + 8 \mu\text{s}$$

$$T_{\text{sym}} = 72 \mu\text{s}$$





5.2.2 Parameter Model Kanal Propagasi

Dalam simulasi ini, kanal propagasi berperan sebagai parameter pengujian pada sistem komunikasi WiMAX 802.16d tanpa STBC maupun dengan STBC, sehingga nantinya dapat diketahui performansi dari masing-masing sistem komunikasi. Dan pada model kanal propagasi terdapat juga parameter-parameter yang diatur, baik pada kanal AWGN maupun kanal *multipath fading*. Adapun pengaturan pada masing-masing kanal adalah sebagai berikut,

a. Kanal AWGN

Pada kanal ini, mode yang digunakan adalah mode SNR (dB) dan dalam simulasi pengujian sistem komunikasi ini digunakan beberapa variasi nilai SNR dengan interval 2 dB. Level SNR yang digunakan dimulai dari -10 dB, sampai level SNR dengan tingkat BER minimal 10^{-3} .

b. Kanal *Multipath Fading*

Pada kanal *multipath fading* terdapat parameter yang dipengaruhi oleh kecepatan pergerakan pengguna, yaitu *Doppler shift*. Seperti yang diketahui bahwa WiMAX 802.16d merupakan standar WiMAX yang digunakan untuk aplikasi fixed BWA, dan hanya untuk akses *nomadic* dengan kecepatan pengguna hanya sebatas kecepatan pejalan kaki dan tidak melakukan *handover*.

Kanal *multipath fading* yang digunakan ada dua jenis, yakni Rician *fading* dan Rayleigh *fading*. Adapun pengaturan dari masing-masing kanal tersebut sebagai berikut.

1. Kanal Rician *Fading*

Pada kanal ini terdapat beberapa parameter yang harus diatur, seperti pada sub bab 4.3.2 yang menjelaskan tentang parameter pada kanal Rician *fading*. Adapun pengaturan pada kanal ini dapat dilihat pada Tabel 5.2

Tabel 5.2 Pengaturan Kanal Rician *Fading*

No	Parameter	Nilai	keterangan
1	<i>Doppler shift of direct Path</i>	4,293 Hz	Dengan $v = 2$ Km/jam
2	<i>K-factor</i>	1	Tiga kondisi pengujian yang berbeda
		5	

		10	
3	<i>Maximum diffuse Doppler shift</i>	2 Hz	Asumsi
4	<i>Delay factor</i>	0 s	Lintasan I (LOS)
		100 ns	Lintasan II
5	<i>Gain factor</i>	-1 dB	Lintasan I (LOS)
		-2 dB	Lintasan II
6	<i>Initial seed</i>	73	Default Matlab

Sumber : Asumsi parameter

Pada Tabel 5.2, besar *Doppler shift* untuk sinyal LOS didasarkan pada kecepatan pejalan kaki, yakni kecepatannya 2 Km/jam. Dengan kecepatan tersebut sesuai dengan persamaan (2.30), maka dapat dihitung *Doppler shift* maksimalnya, yakni

$$f_{d,max} = \frac{v \times f}{c}$$

dengan $v = 2 \text{ Km/Jam} = 0,56 \text{ m/s}$, dan

Standar frekuensi yang digunakan di Indonesia untuk komunikasi BWA, terutama WiMAX 802.16d adalah 2,3 GHz (sumber : http://www.postel.go.id/update/id/baca_info.asp?id_info=1285), maka

$$f_{d,max} = \frac{0,56 \times 2,3 \times 10^9}{3 \times 10^8}$$

$$f_{d,max} = 4,293 \text{ Hz}$$

Sedangkan untuk sinyal pantulannya diasumsikan maksimum Doppler shiftnya sebesar 2 Hz. Nilai *delay factor* dan *gain factor* menjelaskan besar nilai dari masing-masing lintasannya. Dalam hal ini untuk lintasan pertama yakni mempunyai *delay* 0 sekon dengan *gain* -1 dB. Begitu juga pada lintasan kedua, pada lintasan ini diasumsikan mempunyai *delay* 100ns dengan *gain* -2 dB. Besar *delay* 0 sekon merupakan rekomendasi dari

Matlab untuk sinyal yang pertama kali diterima oleh *receiver*, sedangkan penguatannya merupakan asumsi yang didasari pada setiap sinyal yang diterima setelah propagasi, dan pada umumnya mengalami pelemahan.

2. Kanal Rayleigh *Fading*

Pada kanal Rayleigh *fading* juga terdapat parameter yang menjadi fokus utama pengujian, yakni pantulan sinyal. Pada kanal Rayleigh *fading* ini, pantulan sinyal dikarakteristikan dengan *delay factor* dan *gain factor*. Seperti dijelaskan pada metodologi, tentang tahapan simulasi bahwa jumlah lintasan yang digunakan mempunyai variasi sebanyak 3 (tiga), dan merupakan kondisi pengujian yang berbeda. Adapun pengaturan pada kanal ini tentang parameter-parameter lainnya dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Seperti yang dijelaskan pada pemodelan sistem bahwa pada sistem komunikasi tanpa STBC hanya menggunakan sebuah kanal Rayleigh *fading*, sedangkan pada sistem komunikasi dengan STBC digunakan dua buah kanal Rayleigh *fading* yang identik.

Tabel 5.3 Pengaturan Kanal Rayleigh *Fading*

No	Parameter	Nilai	keterangan
1	Doppler shift	4,293 Hz	Dengan $v = 2$ Km/jam
2	<i>Delay factor</i>	0 s	Lintasan I
		100ns	Lintasan II
		400ns	Lintasan III
		1 μ s	Lintasan IV
		1,3 μ s	Lintasan V
		2 μ s	Lintasan VI
3	<i>Gain factor</i>	-1dB	Lintasan I
		-2dB	Lintasan II
		-3dB	Lintasan III
		-4dB	Lintasan IV
		-5dB	Lintasan V
		-6dB	Lintasan VI
4	Initial seed	73	Default Matlab

Sumber : Asumsi parameter

Terlihat pada Tabel 5.3, parameter *delay factor* dan *gain factor* merupakan representasi dari sinyal pantulan. Dalam pengujian, apabila kanal uji *multipath* berjumlah dua lintasan, maka sesuai Tabel 5.3 lintasan pertama mempunyai *delay* 0 s dengan *gain* -1 dB, sedangkan lintasan keduanya mempunyai *delay* 100ns dengan *gain* -2 dB. Begitu juga untuk kanal uji *multipath* berjumlah 4 (empat) lintasan maupun 6 (enam) lintasan. Sedangkan parameter *Doppler shift* digunakan nilai yang besarnya sama dengan parameter *Doppler shift* maksimum pada kanal Rician *fading*, yakni dengan mengasumsikan kecepatan pengguna sama dengan kecepatan pejalan kaki ($v = 2 \text{ Km/jam}$).

5.3 Analisis Performansi Sistem

Pada kedua sistem komunikasi WiMAX 802.16d, dilakukan dua simulai pengujian, yakni pada kanal Rician *fading* dan Rayleigh *fading*. Pengujian pada kanal Rician digunakan variasi nilai faktor K, yakni 2, 5 dan 10, serta dengan asumsi lintasan sinyalnya berjumlah dua lintasan. Dalam hal ini faktor K menyatakan rasio perbandingan antara sinyal LOS dengan sinyal pantulan yang diterima oleh suatu *receiver*. Seperti yang diketahui sebelumnya, parameter tentang kanal Rician *fading* dapat dilihat pada Tabel 5.2. Sedangkan pada kanal Rayleigh *fading* digunakan variasi jumlah lintasan sinyal, yakni 2, 4, dan 6 lintasan, seperti terlihat pada Tabel 5.3 mengenai pengaturan parameter kanal Rayleigh *fading*.

Tahapan analisis performansi sistem dilakukan setelah melakukan simulasi pengujian terhadap model sistem komunikasi WiMAX 802.16d tanpa STBC maupun dengan STBC. Dalam analisis performansi sistem dilakukan secara berurutan, adapun urutan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Analisis performansi terhadap sistem komunikasi WiMAX 802.16d tanpa STBC,
2. Analisis performansi terhadap sistem komunikasi WiMAX 802.16d dengan menggunakan Alamouti-STBC,
3. Analisis perbandingan antara kedua sistem komunikasi tersebut.

Analisis performansi ini didasari oleh hasil simulasi pengujian terhadap sistem komunikasi WiMAX 802.16d tanpa STBC maupun dengan STBC pada sebuah kanal propagasi, dan seperti yang diketahui sebelumnya kanal yang digunakan adalah kanal AWGN, kanal Rician *fading* dan Rayleigh *fading*. Dan parameter yang dianalisis pada sistem komunikasi ini adalah parameter BER terhadap level SNR suatu kanal propagasi. Level SNR ini dihasilkan pada kanal AWGN, yang merupakan kanal ideal dalam komunikasi *wireless*. Parameter BER menyatakan banyaknya bit yang salah dibanding dengan banyaknya bit yang telah ditransmisikan pada *receiver*.

5.3.1 Analisis Performansi Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d Tanpa Alamouti – STBC

a. Kanal Rician *Fading*

Hasil simulasi pengujian pada sistem komunikasi WiMAX 802.16d pada kanal Rician *fading* dapat dilihat pada Tabel 5.4. Dan berdasarkan pada hasil simulasi tersebut, saat nilai faktor $K = 2$ pada kanal Rician *fading*, sistem komunikasi WiMAX 802.16d tidak dapat mencapai BER 10^{-3} . Kondisi terbaik yakni saat level SNR sebesar 32 dB dengan BER mencapai $1,25 \times 10^{-3}$. Hal ini dikarenakan sinyal pantulan sangat mempengaruhi kualitas dari sinyal yang diterima oleh receiver. Saat nilai faktor $K=5$, nilai BER baru mencapai kurang dari 10^{-3} saat level SNR sebesar 30 dB. Sedangkan saat nilai faktor $K = 10$, nilai BER baru mencapai kurang dari 10^{-3} saat level SNR sebesar 24 dB. Adapun hasil simulasi dalam bentuk grafik juga dapat dilihat pada Gambar 5.1.

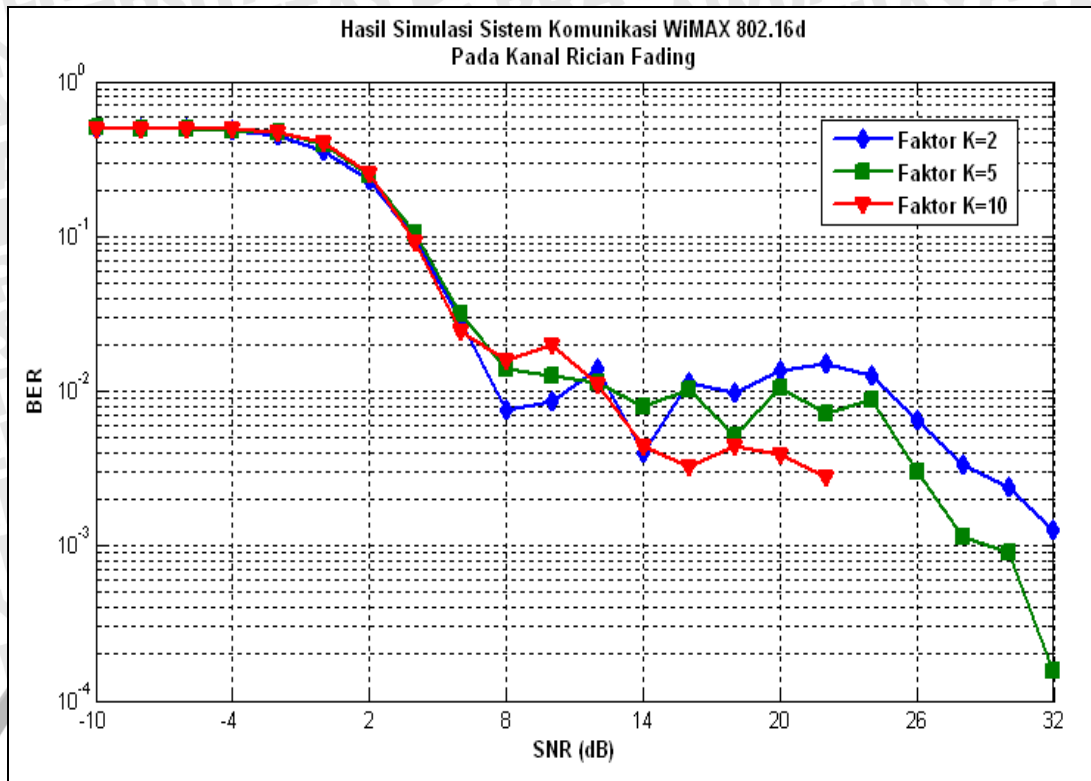
Tabel 5.4 Data Performansi WiMAX 802.16d Pada Kanal Rician *Fading*

Level SNR (dB)	BER		
	Faktor K=2	Faktor K=5	Faktor K=10
-10	0.49643928	0.505809595	0.496657921
-8	0.494690155	0.501093203	0.499281609
-6	0.498032234	0.501186907	0.499469015
-4	0.48353948	0.488911794	0.491754123
-2	0.44683908	0.473138431	0.468609445
0	0.354416542	0.390492254	0.407452524

2	0.231478011	0.247345077	0.253498251
4	0.097045227	0.103385807	0.092984758
6	0.028548226	0.031171914	0.024237881
8	0.007527486	0.013938849	0.015706035
10	0.008673352	0.012448328	0.02005028
12	0.014040375	0.011433172	0.010946622
14	0.003973259	0.00800337	0.004447207
16	0.01149188	0.010320631	0.003280353
18	0.009842727	0.005158631	0.004387889
20	0.013414399	0.010513502	0.003903632
22	0.015127126	0.007173128	0.00277411
24	0.01247085	0.00888346	0
26	0.006523741	0.002990807	0
28	0.00333726	0.001144689	0
30	0.002396689	0.000913139	0
32	0.001250962	0.000156467	0

Sumber : Hasil Simulasi

Pada Gambar 5.1 terlihat bahwa untuk mendapatkan nilai BER sebesar 10^{-3} , sistem komunikasi WiMAX 802.16d tanpa STBC membutuhkan level SNR lebih dari 29 dB saat kondisi kanal memiliki nilai faktor $K = 5$. Dan apabila saat kondisi kanal memiliki nilai faktor $K = 10$, maka sistem komunikasi tersebut membutuhkan level SNR lebih dari 22 dB. Sedangkan saat kondisi kanal memiliki nilai faktor $K=2$, sistem komunikasi membutuhkan level SNR lebih dari 32 dB untuk mendapatkan nilai BER mendekati 10^{-3} . Adapun kebutuhan level SNR ini dapat dilihat pada Tabel 5.5



Gambar 5.1 Performansi Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d Tanpa STBC Pada Kanal Rician Fading

Sumber : Hasil simulasi

Tabel 5.5 Kebutuhan Level SNR Untuk Mendapatkan BER 10^{-3} Pada Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d

Nilai Faktor K Pada Kanal Rician	Level SNR
K = 2	>32 dB
K = 5	>29 dB
K = 10	>22 dB

Sumber : Hasil Analisis

b. Kanal Rayleigh Fading

Hasil simulasi pengujian sistem komunikasi WiMAX 802.16d pada kanal Rayleigh fading dapat dilihat pada Tabel 5.6. Dan berdasarkan hasil simulasi tersebut, saat jumlah sinyal yang diterima oleh receiver berjumlah 2 (dua) dengan spesifikasi tertentu, ternyata BER baru mencapai kurang dari 10^{-3} saat level SNR sebesar 12 dB. Dan saat jumlah sinyal yang diterima receiver berjumlah 4 (empat) dengan spesifikasi tertentu, ternyata BER baru mencapai kurang dari 10^{-3} saat level SNR sebesar 28 dB. Sedangkan saat jumlah sinyal yang diterima receiver berjumlah 6 (enam) dengan



spesifikasi tertentu, ternyata BER baru mencapai kurang dari 10^{-3} saat level SNR sebesar 40 dB. Adapun hasil simulasi dalam bentuk grafik juga dapat dilihat pada Gambar 5.2.

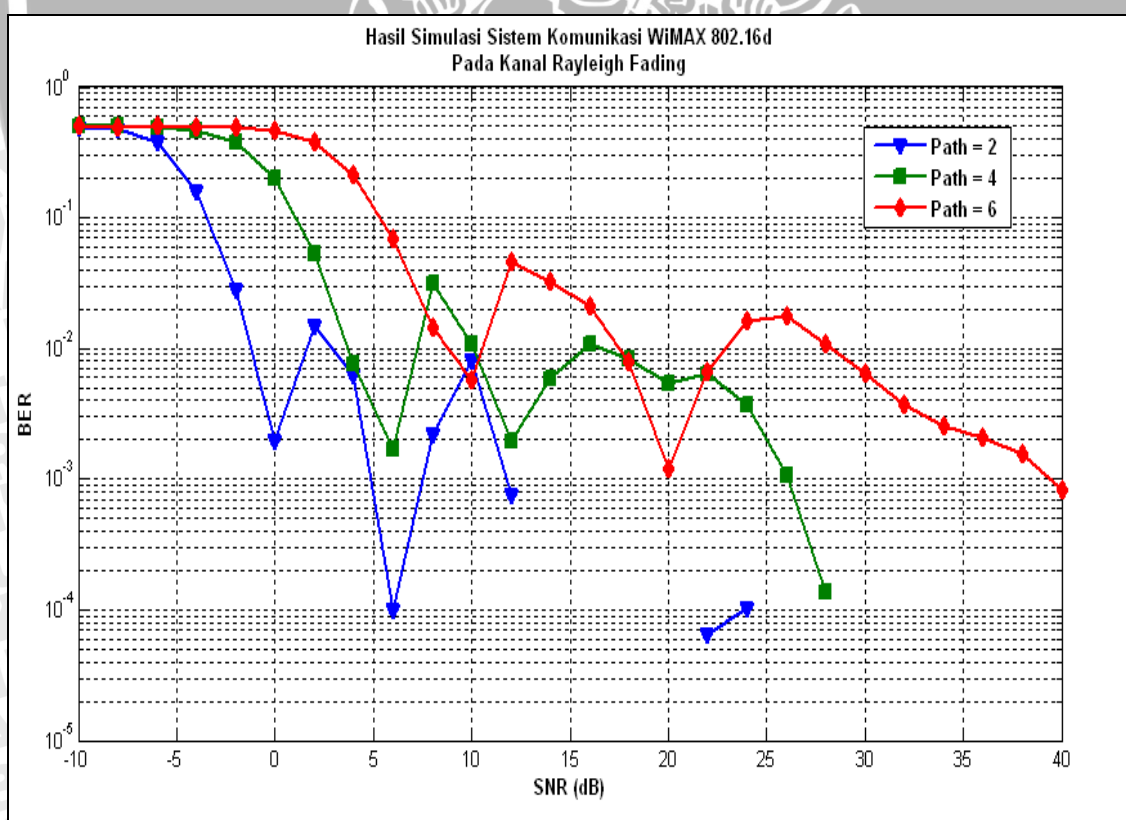
Tabel 5.6 Data Performansi WiMAX 802.16d Pada Kanal Rayleigh Fading

Level SNR (dB)	BER		
	$\sum Path = 2$	$\sum Path = 4$	$\sum Path = 6$
-10	0.494284108	0.500343578	0.499469015
-8	0.473482009	0.500218641	0.495221139
-6	0.379903798	0.49672039	0.500406047
-4	0.158701899	0.470545977	0.491035732
-2	0.027798601	0.376436782	0.497876062
0	0.001936532	0.200493503	0.469546477
2	0.014976573	0.05287981	0.378029735
4	0.006205259	0.007621189	0.212206397
6	0.000098970	0.001686657	0.069121689
8	0.002180406	0.031315845	0.014305347
10	0.008168184	0.010929952	0.005712866
12	0.000761511	0.001945873	0.046568627
14	0	0.005968824	0.032002143
16	0	0.010787066	0.021054061
18	0	0.008321775	0.00789897
20	0	0.005375504	0.001188213
22	0.000065053	0.006414668	0.006660693
24	0.000101849	0.003656788	0.01639197
26	0	0.001060494	0.017507771
28	0	0.000137514	0.010832446
30	0	0	0.006500088

32	0	0	0.003708092
34	0	0	0.002534522
36	0	0	0.002104047
38	0	0	0.001537153
40	0	0	0.000812532

Sumber : Hasil simulasi

Pada Gambar 5.2 terlihat bahwa untuk mendapatkan tingkat BER sebesar kurang dari 10^{-3} , sistem komunikasi WiMAX 802.16d tanpa STBC membutuhkan level SNR lebih dari 11,5 dB saat jumlah *Path* sinyal sama dengan 2 (dua). Saat jumlah *Path* sinyal sama dengan 4 (empat), sistem komunikasi membutuhkan level SNR lebih dari 26 dB. Sedangkan saat jumlah *Path* sinyal sama dengan 6 (enam), sistem komunikasi membutuhkan level SNR 39 dB.. Dalam hal ini sejumlah sinyal tersebut mempunyai karakteristik sinyal pantulan yang sesuai dengan ketentuan yang diasumsikan. Adapun kebutuhan level SNR ini dapat dilihat pada Tabel 5.7



Gambar 5.2 Performansi Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d Tanpa STBC Pada Kanal Rayleigh Fading

Sumber : Hasil simulasi

Tabel 5.7 Kebutuhan Level SNR Untuk Mendapatkan BER 10^{-3} Pada Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d

\sum Path Kanal Rayleigh Fading	Level SNR
\sum Path = 2	>11,5 dB
\sum Path = 4	>26 dB
\sum Path = 6	>39 dB

Sumber : Hasil Analisis

5.3.2 Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d-STBC

a. Kanal Rician Fading

Hasil simulasi pengujian pada sistem komunikasi WiMAX 802.16d-STBC pada kanal Rician *fading* dapat dilihat pada Tabel 5.8. Berdasarkan pada data hasil simulasi, nilai BER baru dapat mencapai kurang dari 10^{-3} saat level SNR dari kanal propagasi sebesar 12 dB untuk setiap variasi faktor K. Adapun grafik performansi dari sistem komunikasi WiMAX 802.16d-STBC pada kanal Rician *fading* dapat dilihat pada Gambar 5.3.

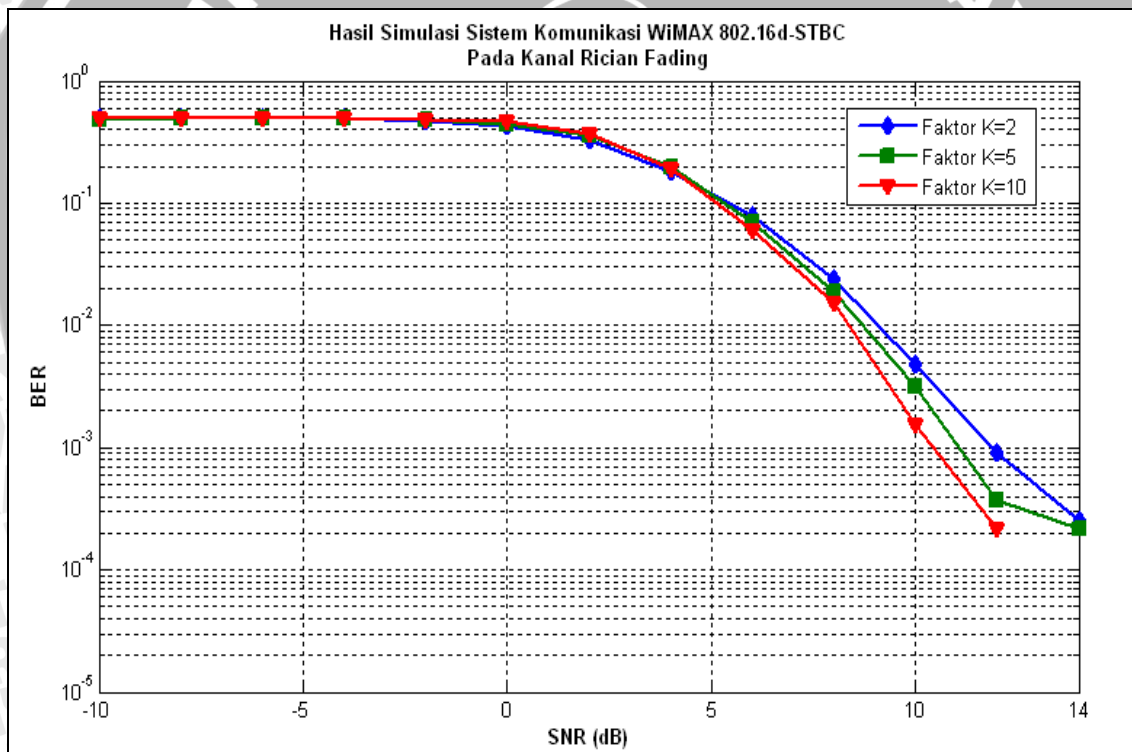
Tabel 5.8 Data Performansi WiMAX 802.16d-STBC Pada Kanal Rician Fading

Level SNR (dB)	BER		
	Faktor K=2	Faktor K=5	Faktor K=10
-10	0.497626187	0.486725387	0.500281109
-8	0.501218141	0.496345577	0.502373813
-6	0.501624188	0.501811594	0.498688156
-4	0.496189405	0.496345577	0.49771989
-2	0.470983258	0.486725387	0.488818091
0	0.427504998	0.443903048	0.469765117
2	0.323650675	0.353854323	0.36687906
4	0.180628436	0.195089955	0.191685407
6	0.079241629	0.069434033	0.060969515
8	0.024050475	0.018771864	0.015367316
10	0.004778861	0.003185907	0.001530485

12	0.000905797	0.000374813	0.000218641
14	0.000249875	0.000218641	0

Sumber : Hasil simulasi

Pada Gambar 5.3 terlihat bahwa saat nilai faktor $K = 2$, untuk mencapai BER 10^{-3} sistem memerlukan level SNR kurang lebih 12 dB. Saat nilai faktor $K = 5$, sistem memerlukan level SNR kurang lebih 11 dB. Sedangkan saat nilai faktor $K = 10$, sistem memerlukan level SNR kurang lebih 10,5 dB, sehingga dapat dinyatakan bahwa semakin besar nilai faktor K , maka level SNR yang dibutuhkan oleh sistem komunikasi untuk mendapatkan BER 10^{-3} semakin kecil. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 5.9. Pada Gambar 5.3 juga terlihat, pada saat level SNR yang sama, semakin besar nilai faktor K pada sebuah kanal Rician *fading*, maka akan memberikan BER yang semakin kecil.



Gambar 5.3 Performansi Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d-STBC Pada Kanal Rician *Fading*

Sumber : Hasil simulasi

Tabel 5.9 Kebutuhan Level SNR Untuk Mendapatkan BER 10^{-3} Pada Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d-STBC

Nilai Faktor K Pada Kanal Rician	Level SNR
K = 2	>12 dB
K = 5	>11 dB
K = 10	>10,5 dB

Sumber : Hasil Analisis

b. Kanal Rayleigh *Fading*

Hasil simulasi pengujian sistem komunikasi WiMAX 802.16d pada kanal Rayleigh *fading* dapat dilihat pada Tabel 5.10. Berdasarkan data hasil simulasi, saat sinyal yang diterima receiver berjumlah 2 (dua) dengan spesifikasi tertentu, ternyata nilai BER baru dapat mencapai kurang dari 10^{-3} saat level SNR sebesar 2 dB. Dan ketika sinyal yang diterima receiver berjumlah 4 (empat) dengan spesifikasi tertentu, ternyata nilai BER baru dapat mencapai kurang dari 10^{-3} saat level SNR sebesar 8 dB. Sedangkan saat sinyal yang diterima receiver berjumlah 6 (enam) dengan spesifikasi tertentu, ternyata nilai BER baru dapat mencapai kurang dari 10^{-3} saat level SNR sebesar 14 dB. Adapun hasil simulasi dapat juga dilihat pada Gambar 5.4

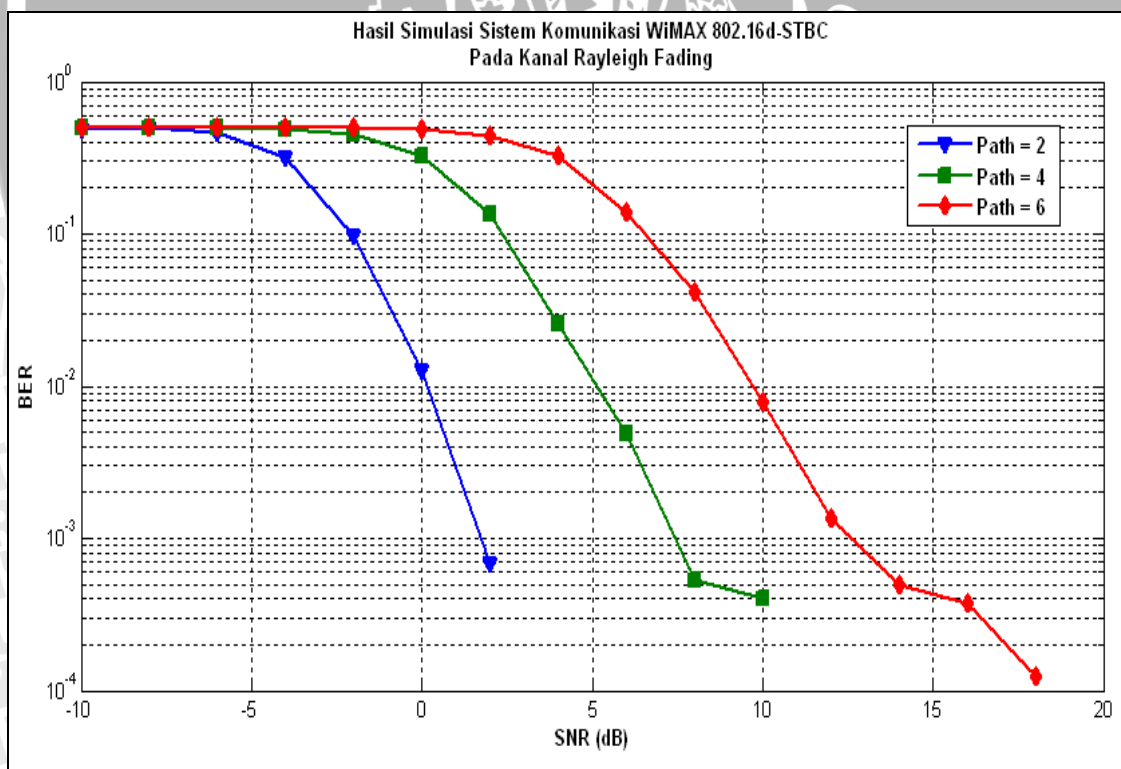
Tabel 5.10 Data Performansi WiMAX 802.16d-STBC Pada Kanal Rayleigh *Fading*

Level SNR (dB)	BER		
	$\sum Path = 2$	$\sum Path = 4$	$\sum Path = 6$
-10	0.494190405	0.499375312	0.495283608
-8	0.498750625	0.494377811	0.502467516
-6	0.459457771	0.499687656	0.499968766
-4	0.317716142	0.489130435	0.501155672
-2	0.096982759	0.451305597	0.498625687
0	0.012712394	0.323681909	0.489349075
2	0.000687156	0.133901799	0.44027986
4	0	0.025393553	0.323806847
6	0	0.004903798	0.139992504
8	0	0.000530985	0.041854073
10	0	0.000406047	0.007964768

12	0	0	0.001343078
14	0	0	0.00049975
16	0	0	0.000374813
18	0	0	0.000124938
20	0	0	0

Sumber : Hasil simulasi

Pada Gambar 5.4 terlihat bahwa untuk mendapatkan nilai BER sebesar 10^{-3} , saat jumlah *Path* = 2, level SNR yang dibutuhkan lebih dari 1,75 dB. Saat jumlah *Path* = 4, level SNR yang dibutuhkan lebih dari 7,5 dB. Sedangkan saat jumlah *Path* = 6, level SNR yang dibutuhkan lebih dari 12,5 dB. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 5.11. Pada tabel tersebut dapat dikatakan bahwa semakin banyak sinyal yang diterima, maka level SNR yang dibutuhkan semakin besar, untuk mendapatkan nilai BER sebesar 10^{-3} . Dalam hal ini sejumlah sinyal tersebut mempunyai karakteristik sinyal pantulan yang sesuai dengan ketentuan yang diasumsikan.



Gambar 5.4 Performansi Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d-STBC Pada Kanal Rayleigh Fading
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 5.11 Kebutuhan Level SNR Untuk Mendapatkan BER 10^{-3} Pada Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d-STBC

\sum Path Kanal Rayleigh Fading	Level SNR
\sum Path = 2	>1,75 dB
\sum Path = 4	>7,5 dB
\sum Path = 6	>12,5 dB

Sumber : Hasil Analisis

5.3.3 Perbandingan Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d

Dari analisis dari performansi sistem komunikasi WiMAX 802.16d tanpa STBC pada kedua kanal *fading*, dapat dikatakan kanal *fading* sangat mempengaruhi performansi. Pada kanal Rician *fading* dengan karakteristik kanal yang telah ditentukan, sistem komunikasi dapat mencapai tingkat BER 10^{-3} , apabila level SNR dari suatu kanal minimal sebesar 29 dB. Sedangkan pada kanal Rayleigh *fading*, sistem dapat mencapai tingkat BER 10^{-3} , apabila level SNR dari suatu kanal minimal sebesar 39 dB. Dengan demikian dalam implementasinya, sistem komunikasi WiMAX memerlukan *amplifier* yang cukup besar untuk dapat mengatasi permasalahan tentang kondisi kanal yang acak dan sangat mempengaruhi performansi sistem komunikasi tersebut.

Dalam meningkatkan performansi dari sebuah sistem komunikasi terdapat berbagai macam cara, dan seperti yang telah diketahui, penerapan teknik diversitas dapat meningkatkan performansi dari sistem komunikasi, khususnya penerapan teknik STBC pada sebuah sistem komunikasi.

Berdasarkan hasil analisis, penerapan STBC pada sistem komunikasi WiMAX 802.16d sangat berpengaruh sekali dalam peningkatan performansi sistem komunikasi. Terlihat bahwa dengan menerapkan teknik STBC, pada kanal Rician *fading*, sistem komunikasi WiMAX 802.16d hanya memerlukan level SNR minimal 12 dB untuk mencapai tingkat BER sebesar 10^{-3} . Sedangkan pada kanal Rayleigh *fading*, sistem hanya memerlukan level SNR minimal 12,5 dB.

Dan apabila dibandingkan, performansi sistem komunikasi WiMAX 802.16d tanpa menggunakan teknik STBC dengan WiMAX 802.16d dengan menggunakan teknik STBC sangatlah berbeda dan cukup signifikan. Dan tentunya performansi WiMAX 802.16d mengalami peningkatan, hal ini dapat dilihat pada Tabel 5.12. Pada kondisi kanal Rician *fading* yang telah ditentukan, rata-rata selisih level SNR yang diperlukan sebuah sistem komunikasi sebesar $\pm 16,5$ dB. Sedangkan pada kondisi kanal

Rayleigh *fading* yang juga telah ditentukan, rata-rata selisih level SNR yang diperlukan sebuah sistem komunikasi sebesar $\pm 18,25$ dB. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa penerapan teknik STBC dengan Metode Alamouti dapat memperkecil level SNR yang dibutuhkan oleh sebuah sistem komunikasi WiMAX 802.16d.

Tabel 5.12 Perbandingan Sistem Komunikasi WiMAX 802.16d

Kanal <i>Fading</i>	Kebutuhan Level SNR		Selisih Level SNR
	Tanpa STBC	Dengan STBC	
Kanal Rician <i>Fading</i>			
Faktor K = 2	>32 dB	>12 dB	± 20 dB
Faktor K = 6	>29 dB	>11 dB	± 18 dB
Faktor K = 10	>22 dB	>10,5 dB	$\pm 11,5$ dB
Kanal Rayleigh <i>Fading</i>			
$\sum Path = 2$	>11,5 dB	>1,75 dB	$\pm 9,75$ dB
$\sum Path = 4$	>26 dB	>7,5 dB	$\pm 18,5$ dB
$\sum Path = 6$	>39 dB	>12,5 dB	$\pm 26,5$ dB

Sumber : Hasil Analisis

Tentunya dengan semakin rendah level SNR yang dibutuhkan, dalam mendapatkan besar BER yang diinginkan oleh sebuah sistem komunikasi, maka dapat dikatakan tingkat reliabilitas sebuah sistem komunikasi semakin baik. Jadi penerapan Alamouti-STBC pada sistem komunikasi WiMAX 802.16d memberikan tingkat reliabilitas sistem komunikasi yang baik.



BAB VI PENUTUP

6.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Secara umum, penerapan Alamouti-STBC pada sistem komunikasi WiMAX 802.16d dapat meningkatkan performansi dari sistem komunikasi.
2. Penerapan Alamouti-STBC pada sistem komunikasi WiMAX 802.16d dapat memperkecil level SNR yang dibutuhkan, yakni pada kanal Rician *fading* dengan parameter kanal yang telah ditentukan, selisih rata-rata level SNR yang dibutuhkan mencapai $\pm 16,5$ dB. Sedangkan pada kanal Rayleigh *fading* dengan parameter kanal yang telah ditentukan, selisih rata-rata level SNR yang dibutuhkan mencapai $\pm 18,25$ dB.
3. Pada kanal Rician *fading*, performansi sistem komunikasi WiMAX 802.16d sangat dipengaruhi oleh besar rasio perbandingan antara daya sinyal *line-of-sight* (LOS) dengan daya sinyal pantulan (faktor K), yakni semakin besar rasio perbandingan antara sinyal LOS dengan sinyal pantulan, maka semakin rendah level SNR yang dibutuhkan pada sistem komunikasi WiMAX 802.16d.
4. Secara umum pada kanal Rayleigh *fading*, performansi sistem komunikasi WiMAX 802.16d sangat dipengaruhi oleh banyaknya sinyal pantulan yang diterima sebuah *receiver*, yakni semakin banyak jumlah sinyal yang diterima oleh sebuah *receiver*, maka semakin besar level SNR yang dibutuhkan pada sistem komunikasi WiMAX 802.16d.

6.2 SARAN

Dalam upaya pengembangan teknologi telekomunikasi, maka diperlukan pengembangan tentang teknologi BWA khususnya WiMAX 802.16d. Adapun saran yang diberikan adalah

1. Sebaiknya dalam melakukan simulasi model sistem komunikasi dengan menggunakan program Matlab, parameter initial seed pada model kanal juga perlu dipertimbangkan.
2. Sebaiknya dilakukan penelitian tentang karakteristik kanal *fading*, sebelum diimplementasikan untuk kanal uji sistem komunikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahson, Syed dan Mohammad Ilyas. 2008. *WiMAX Technologies, Performance Analysis, and QOS*. Boca Raton : Taylor & Francis Group, LLC.
- Andrews, Jeffery G., Arunabha Ghosh dan Rias Muhamed. 2007. *Fundamentals of WiMAX*. United States of America: Pearson Education, Inc.
- Bahai, Ahmad. R.S. Burton R.S. dan Mustafa Ergen. 2004. *Multi-Carrier Digital Communication*. Boston : Springer Sciences and Business Media, LLC.
- Chen, Kwang-Cheng dan J. Roberto B. de Marca. 2008. *Mobile WiMAX*. England : JohnWiley & Sons, Ltd.
- Efendi, Rustam. 2007. *Limited Feedback Precoding Dan Mimo Spatial Multiplexing Untuk Aplikasi 802.16e*. Tesis. STT Telkom.
- Ergan, Mustafa. 2009. *Mobie Broadband Including WiMAX and LTE*. Berkeley : Springer Sciences and Business Media, LLC.
- Fazel, K. dan S. Kaiser. 2008. *Multi-carrier and Spread Spectrum Systems : from OFDM and MC-CDMA to LTE and WiMAX*. England : John Wiley & Sons Ltd.
- Glisic, Savo. 2004. *Advance Wireless Communication*. England : John Wiley & Sons Ltd.
- Hara, S. dan Ramjee Prasaad. 2003. *Multicarrier Technology for 4G Mobile Communication*. London : Artech House.
- IEEE 802.16 Working Group. 2004. *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*. New York : IEEE, Inc.
- Kuhn, Volker. 2006. *Wireless Communication over MIMO Channel*. England : John Wiley & Sons Ltd.
- Leon-Garcia, Alberto dan Indra Widjaja. 2001. *Communication Network : Fundamental Concepts and Key Architecture*. New York : McGraw-Hill.
- Mufti, Nachwan. *Fading Mitigation*. www.stttelkom.ac.id. 28 September 2007
- Mufti, Nachwan. *Propagasi Sinyal Pada Kanal Fading Komunikasi Bergerak*. www.stttelkom.ac.id. 28 September 2007
- Nuaymi, Loutfi. 2007. *WiMAX :Technology for Broadband Wireless Access*. England : John Wiley & Sons Ltd.

- Parsons J.D. 2000. *The Mobile Radio Propagation Channel*. England : JohnWiley & Sons, Ltd.
- Roca, Amalia. *Implementation of a WiMAX simulator in Simulink*. Vienna University, 2007.
- Tse, David. Pramod Viswanath. *Fundamentals of Wireless Communication*. United States of America: Cambridge University Press. 2005
- Vucetic, Branka dan Jinhong Yuan. 2003. *Space-Time Coding*. England : JohnWiley & Sons, Ltd.
- Zhang, Yan dan Hsiao-Hwa Chan. 2008. *Mobile WiMAX : Toward Broadband Wireless Metropolitan Area Network*. Boca Raton : Taylor & Francis Group, LLC.
- _____, 2007. *Persyaratan Teknis Alat Dan Perangkat Telekomunikasi Base Station Broadband Wireless Access (BWA) Mode Division Duplex (TDD) Nomadic Pada Pita Frekuensi 2,3 Ghz*. Jakarta : Dirjen Postel.



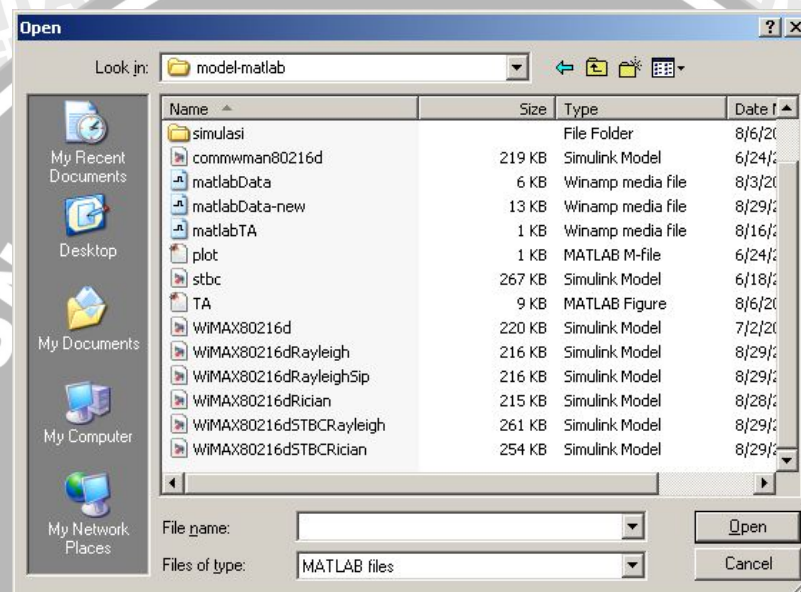


LAMPIRAN

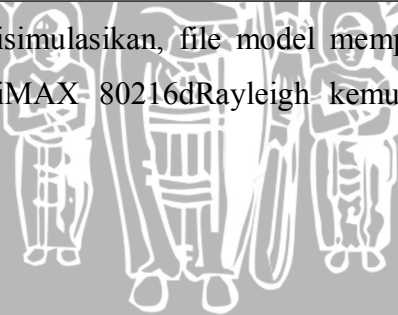


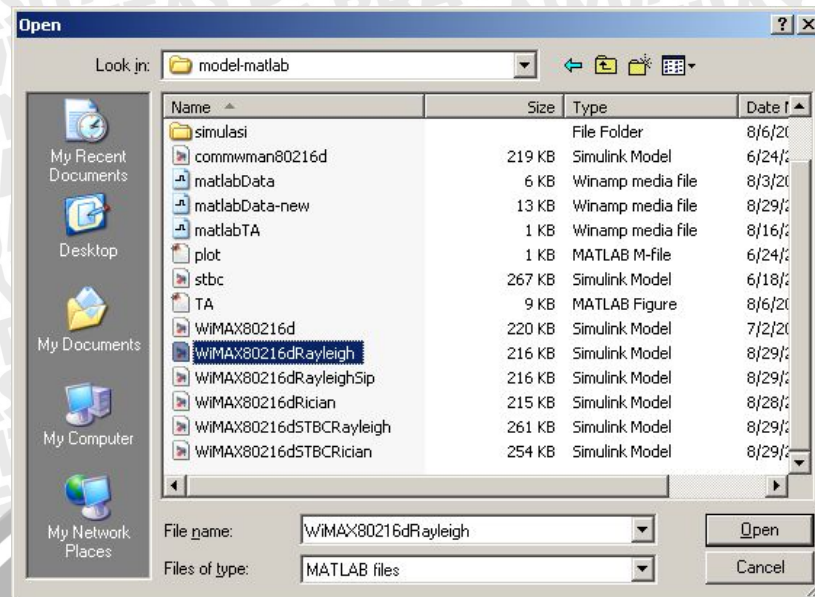
Lampiran 1. Langkah – langkah simulasi model sistem

1. Pastikan program Matlab 7.5.0 telah dijalankan dan model telah dibuat dengan benar.
2. Buka model sistem yang akan disimulasikan, yakni dengan pilih *File*, kemudian *Open*, setelah itu muncul jendela *Open*, seperti gambar dibawah ini.

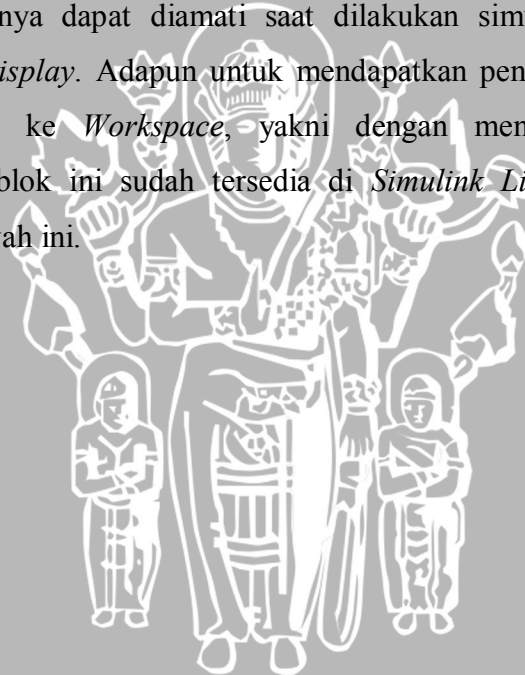


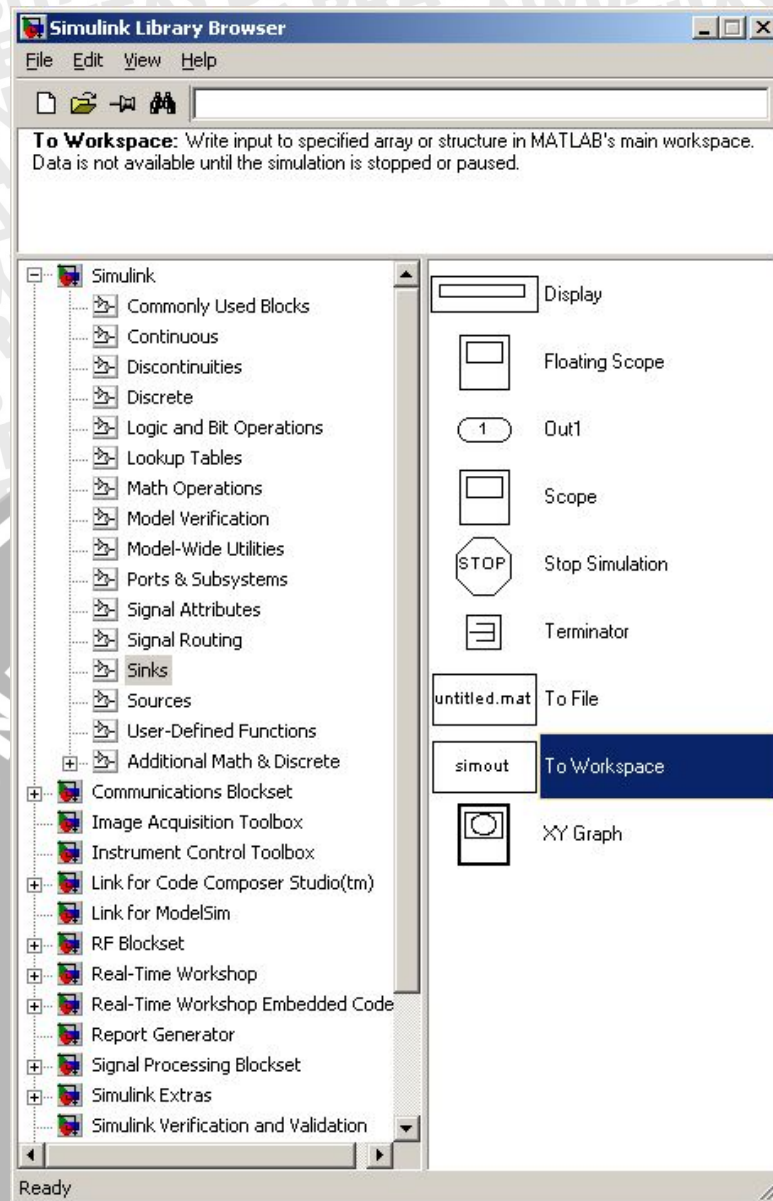
3. Pilih model yang akan disimulasikan, file model mempunyai tipe file Simulink Model, misalkan file *WiMAX-80216dRayleigh* kemudian pilih *Open*, seperti gambar dibawah ini.





4. Setelah model telah terbuka, maka dilakukan penambahan blok untuk keluaran data BER sehingga nilainya dapat diamati saat dilakukan simulasi, dalam hal ini ditambahkan blok *Display*. Adapun untuk mendapatkan penyimpanan data maka diperlukan keluaran ke *Workspace*, yakni dengan menambahkan blok *To Workspace*. Kedua blok ini sudah tersedia di *Simulink Library*, bagian *Sinks*, seperti gambar dibawah ini.





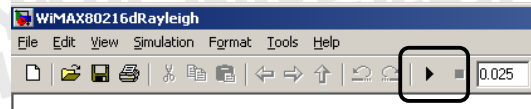
5. Kemudian dilakukan pengaturan terhadap waktu durasi simulasi, yang terletak bagian atas jendela, seperti gambar dibawah ini.



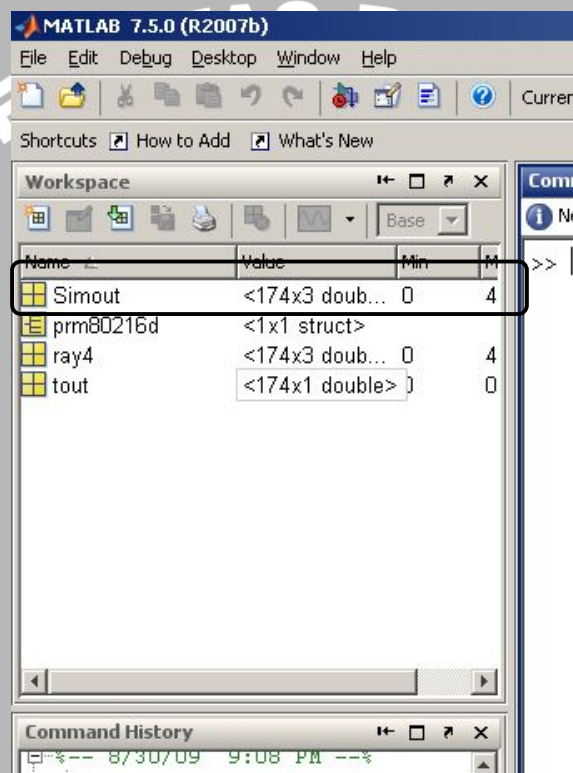
6. Pengaturan lapisan fisik, dengan klik dua kali pada blok pengaturan parameter. Adapun parameter yang diatur adalah *bandwidth* kanal, jumlah *symbol* OFDM, *Cyclic prefix*.
7. Pengaturan kanal propagasi, baik blok model kanal *fading* maupun AWGN, yakni dengan klik dua kali pada setiap blok model. Adapun parameter yang digunakan

dalam simulasi model ini sesuai dengan Tabel 5.2 untuk kanal Rician *fading*, Tabel 5.3 untuk kanal Rayleigh *fading*.

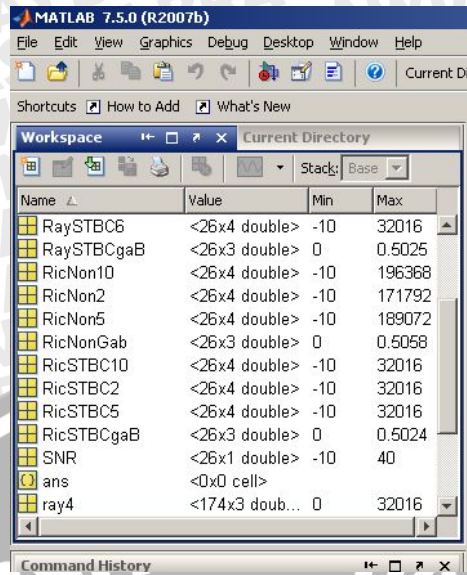
8. Apabila pengaturan telah selesai, maka pilih *Simulation*, kemudian *Start*, atau dengan klik pada tombol *play*, seperti gambar dibawah ini.



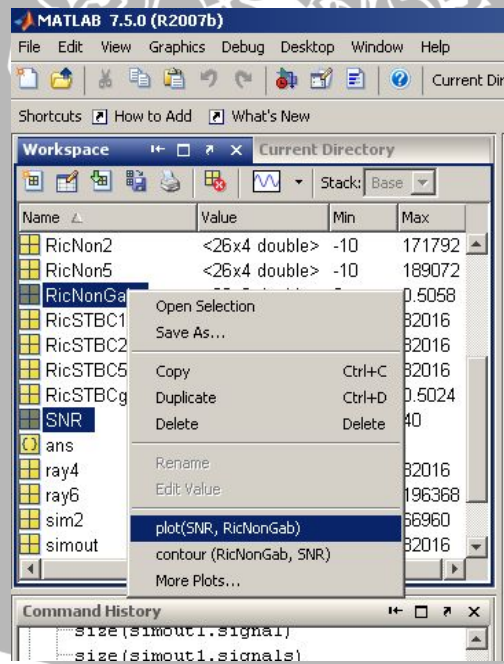
9. Setelah selesai simulasi, maka hasil parameter simulasi tersebut akan disimpan di *workspace*, dengan *variable Simout* (sesuai label dari blok model *To Workspace*), seperti gambar di bawah ini.



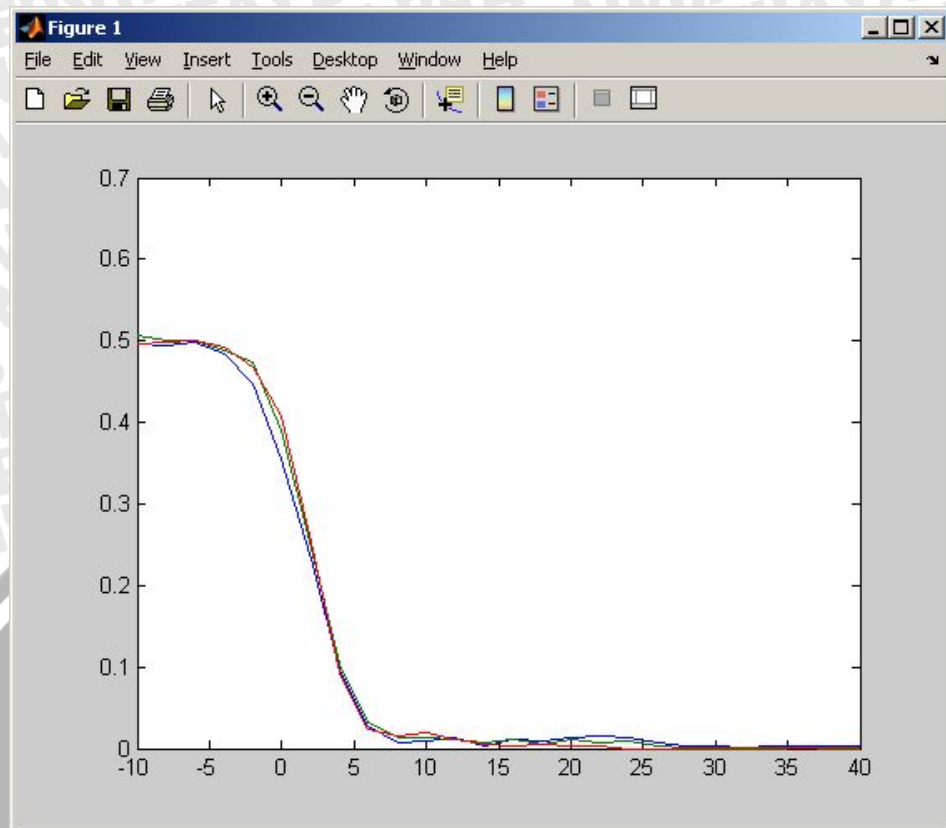
10. Untuk melihat data hasil simulasi, maka klik dua kali pada variable tersebut.
11. Masukkan data BER untuk setiap nilai SNR pada sebuah variabel pada *Workspace*, yakni dengan memilih *new variable*, kasih nama variabel sesuai dengan yang diinginkan.
12. Setelah semua data BER terhadap SNR telah didapatkan, seperti gambar dibawah ini. Maka *plot* diagram karakteristik untuk setiap model sistem yang diinginkan, dalam hal ini, diagram karakteristik yang ditampilkan adalah karakteristik parameter SNR terhadap BER dari sebuah model sistem komunikasi WiMAX 802.16d



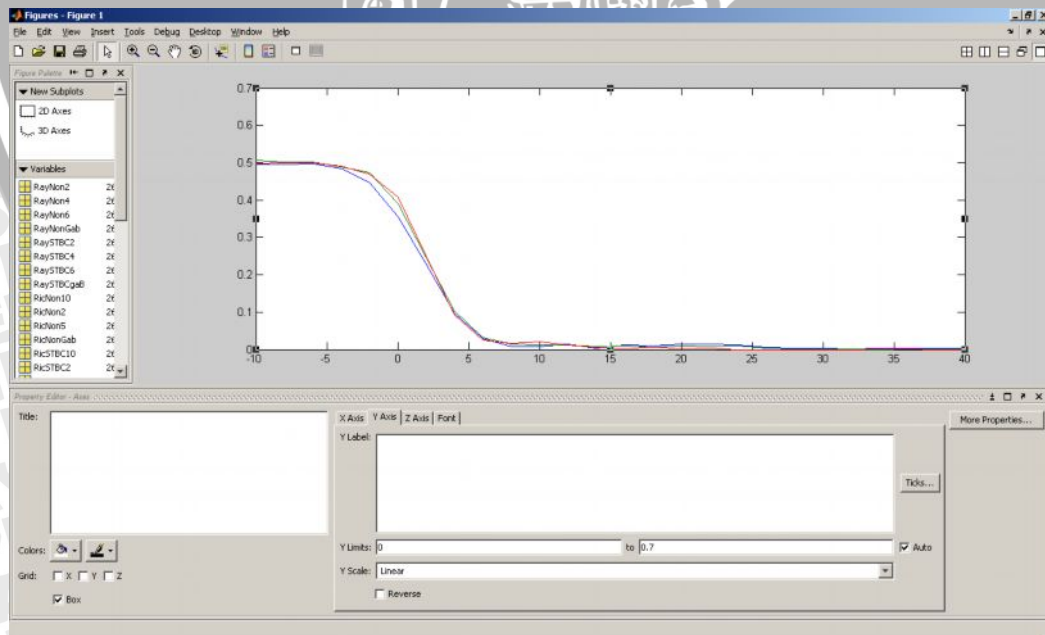
13. Untuk menampilkan dari diagram tersebut, ada berbagai macam cara, tetapi cara paling mudah adalah dengan memilih dua variabel yang nantinya sebagai dari nilai dari karakteristik diagram, dalam hal ini BER dan SNR. kemudian klik kanan dan pilih *plot*, seperti pada gambar di bawah ini



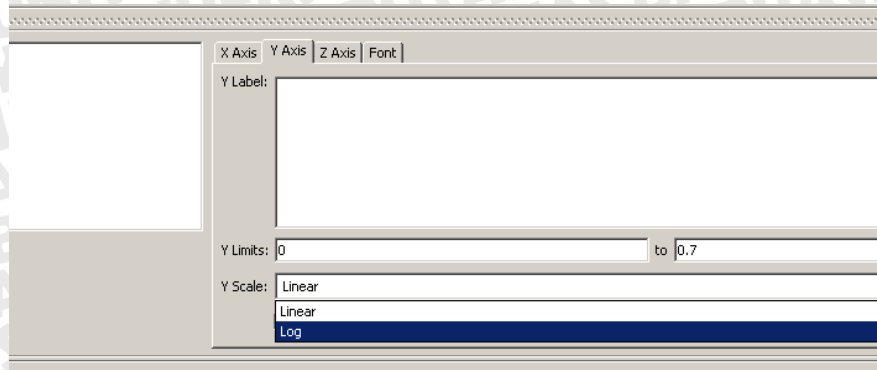
14. Setelah itu akan muncul gambar, seperti gambar dibawah ini



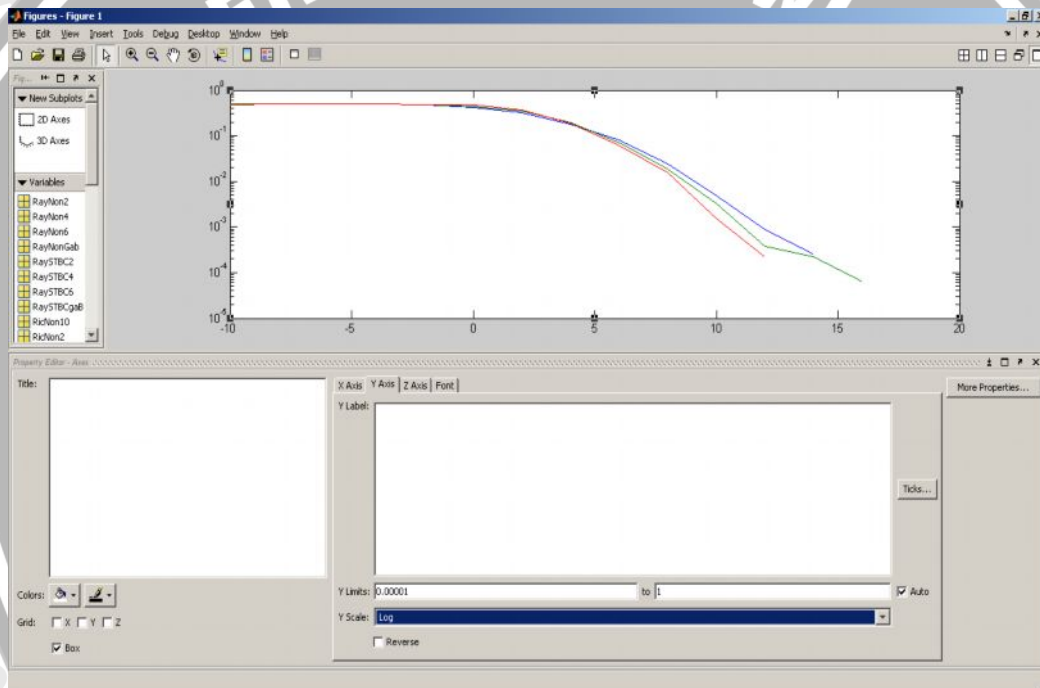
15. Untuk menampilkan grafik dengan sumbu Y berskala *log*, maka ubah *Y scale* yang semula linier ke *log*, yakni dengan memilih *plot tool* pada pojok kanan dari gambar yang telah ditampilkan tadi. Setelah itu akan muncul seperti gambar di bawah ini



16. Kemudian ganti *Y scale* yang semula *linier* ke *log*, pada *Y axis*, seperti pada gambar di bawah ini



17. Setelah *scale* dari grafik tersebut diganti, maka grafik tersebut akan tampil seperti gambar di bawah ini



18. Adapun perubahan komponen grafik, seperti warna grafik, skala, legenda, dll, dapat dilakukan di fasilitas Matlab ini (*Plot tool and Dock Figure*).

Lampiran 2. Listing Program Inisialisasi Lapisan Fisik WiMAX 802.16d

```

function commwman80216d_init(varargin)
%% Inisialisasi Lapisan Fisik WirelessMAN-OFDM WiMAX 802.16d
%
%=====

if nargin == 0
    chanBW = 3.5;
    numSym = 1;
    numPreSym = 1;
    g = '1/8';
    thresh = [4 10 12 19 22 28];
elseif nargin == 1
    chanBW = 3.5;
    numSym = 2; % untuk WiMAX dengan STBC
    numPreSym = 1;
    g = '1/8';
    thresh = [4 10 12 19 22 28];
    mode = 'stbc';
elseif nargin==5
    [chanBW, numSym, numPreSym, g, thresh] = deal(varargin{:});
elseif nargin==6
    [chanBW, numSym, numPreSym, g, thresh,mode] = deal(varargin{:});

    if mod(numSym, 2)~=0
        error(['Jumlah symbol OFDM per burst harus genap untuk
(STBC)']);
    end
else
    error('Unsupported configuration.');
```



```

end

if length(thresh) ~= 6
    error('Batas SNR harus terdiri dari 6 elemen vektor');
```

```

end

p.BW = chanBW*1e6; % Channel bandwidth (Hz)
p.g = str2num(g); % Cyclic prefix
p.numOFDMSymbols = numSym; % Jumlah symbol OFDM per burst
p.numPreamOFDMSymbols = numPreSym; % Jumlah preamble symbol OFDM

p.totOFDMSym = p.numOFDMSymbols + p.numPreamOFDMSymbols;

% =====
% Parameter Sinyal yang ditransmisikan
% =====

p.nfft = 256; % Jumlah FFT bins (NFFT)
p.nused = 200; % Jumlah subcarrier yang digunakan, termasuk pilot
p.numDataSym = 192; % Jumlah data (N used) pada symbol OFDM
nfft2 = (1+p.g)*p.nfft;

if mod(p.BW, 1.75e6) == 0
    n = 8/7; % Sampling factor
elseif mod(p.BW, 1.5e6) == 0
    n = 86/75;

```



```

elseif mod(p.BW, 1.25e6) == 0
    n = 144/125;
elseif mod(p.BW, 2.75e6) == 0
    n = 316/275;
elseif mod(p.BW, 2e6) == 0
    n = 57/50;
else
    n = 8/7;
end

Fs = floor(n*p.BW/8000)*8000; % Sampling Frequency
df = Fs/p.nfft; % Subcarrier Spacing
Tb = 1/df; % Waktu tiap symbol yang digunakan
Tg = p.g*Tb; % waktu tiap Cyclic prefix
p.Ts = Tg + Tb; % waktu tiap OFDM symbol

numTxSymbols = p.numDataSym * p.numOFDMSymbols;

% =====
% Preamble sequences
% =====
p.Pall = [1-j; 1-j; -1-j; 1+j; 1-j; 1-j; -1+j; 1-j; 1-j; 1-j; 1+j; -1-
j; ...
1+j; 1+j; -1-j; 1+j; -1-j; -1-j; 1-j; ...
-1+j; 1-j; 1-j; -1-j; 1+j; 1+j; 1-j; -1+j; 1-j; 1-j; 1-j;
1+j;...
-1-j; 1+j; 1+j; -1-j; 1+j; -1-j; -1-j; 1-j; ...
-1+j; 1-j; 1-j; -1-j; 1+j; 1-j; 1-j; -1+j; 1-j; 1-j; 1-j;
1+j;...
-1-j; 1+j; 1+j; -1-j; 1+j; -1-j; -1-j; 1-j; ...
-1+j; 1+j; 1+j; 1-j; -1+j; 1+j; 1+j; -1-j; 1+j; 1+j; -
1+j;...
1-j; -1+j; -1+j; 1-j; -1+j; 1-j; 1-j;...
1+j; -1-j; -1-j; -1-j; -1+j; 1-j; -1-j; -1-j; 1+j; -1-j; -1-j;
-1-j;...
1-j; -1+j; 1-j; 1-j; -1+j; 1-j; -1+j;...
-1+j; -1-j; 1+j; 0; -1-j; 1+j; -1+j; -1+j; -1-j; 1+j; 1+j;
1+j;...
-1-j; 1+j; 1-j; 1-j; 1-j; -1+j; -1+j;...
-1+j; -1+j; 1-j; -1-j; -1-j; -1+j; 1-j; 1+j; 1+j; -1+j; 1-j;
1-j;...
1-j; -1+j; 1-j; -1-j; -1-j; -1-j; 1+j; ...
1+j; 1+j; 1+j; -1-j; -1+j; -1+j; 1+j; -1-j; 1-j; 1-j; 1+j; -1-
j;...
-1-j; -1-j; 1+j; -1-j; -1+j; -1+j;...
-1+j; 1-j; 1-j; 1-j; 1-j; -1+j; 1+j; 1+j; -1-j; 1+j; -1+j; -
1+j;...
-1-j; 1+j; 1+j; 1+j; -1-j; 1+j; 1-j; 1-j; ...
1-j; -1+j; -1+j; -1+j; -1+j; 1-j; -1-j; -1-j; 1-j; -1+j; -1-j;
-1-j;...
1-j; -1+j; -1+j; -1+j; 1-j; -1+j; ...
1+j; 1+j; 1+j; -1-j; -1-j; -1-j; -1-j; 1+j; 1-j; 1-j; 1-j ] ;
fIdx = -100:100;
p.Peven = zeros(201,1); p.Podd = p.Peven; p.P4x64 = p.Peven;
p.Peven(mod(fIdx,2)==0) = sqrt(2)*p.Pall(mod(fIdx,2)==0);
p.Podd(mod(fIdx,2)~=0) = sqrt(2)*p.Pall(mod(fIdx,2)~=0);
p.P4x64(mod(fIdx,4)==0) = 2*conj(p.Pall(mod(fIdx,4)==0));

p.pShort = p.Peven;

```

```

p.txCPIndices = [p.nfft*(1-p.g)+1:p.nfft 1:p.nfft];
p.rxCPIndices = p.nfft*p.g+1:p.nfft*(1+p.g);

% =====
% Modulator/demodulator
% =====

txBitsPerSym = [1 2 2 4 4 6 6];
txBitsPerBlk = numTxSymbols * txBitsPerSym;
codeRate = [1/2 1/2 3/4 1/2 3/4 2/3 3/4];
p.bitsPerSymbol = txBitsPerSym .* codeRate;
p.bitsPerBlk = txBitsPerBlk .* codeRate;
p.maxBitsPerBlk = max(p.bitsPerBlk);

p.uncBlkSize = [12 24 36 48 72 96 108]; % in bytes from Table 215
p.maxUncBitsPerBlk = max(p.uncBlkSize)*8;

% =====
% Timing-related parameters
% =====

symbolPeriod = p.Ts/p.numDataSym;
p.blkPeriod = symbolPeriod * numTxSymbols;
p.bitPeriod = symbolPeriod ./ p.bitsPerSymbol;
p.minBitPeriod = min(p.bitPeriod);
p.chanTs = p.blkPeriod/(p.totOFDMSym * nfft2); % channel sample period

% =====
% For adaptive rate control
% =====
p.thresholds = thresh;

% =====
% Memasukkan / membuat variabel ke Workspace
% =====
if exist('mode','var') % for STBC
    assignin('base', 'prm80216ds', p);
else
    assignin('base', 'prm80216d', p);
end

```


Lampiran 3. Listing Program *Embedded Matlab Untuk STBC-Encoder*

```
function [ant1, ant2] = stbcenc(u)
% stbcenc(Space-Time Block Encoder)
% Keluaran STBC adalah sinyal masukan yang dikodekan sebagai keluaran
%      tiap antenna.
% u => data sinyal masukan.
% =====
% Pendefinisian awal antenna.
% Keluaran setiap antenna didefinisikan sebagai
% matriks kompleks bernilai 0, dengan ukuran matriks sama dengan
% masukan STBC (u).
% ant1 => antenna 1, ant2 => antenna 2.
ant1 = complex(zeros(size(u)));
ant2 = ant1;
% =====
% Pengulangan keluaran antenna
% didasarkan pada ukuran kolom dari matriks data masukan
% Alamouti Space-Time Block Encoder, G2, full rate
% G2 = [s0 s1; -s1* s0*]
for i = 1:size(u,2)/2
    s0 = u(:, 2*i-1); s1 = u(:, 2*i);
    ant1(:, [2*i-1 2*i]) = [s0 -conj(s1)];
    ant2(:, [2*i-1 2*i]) = [s1 conj(s0)];
end
% =====
```

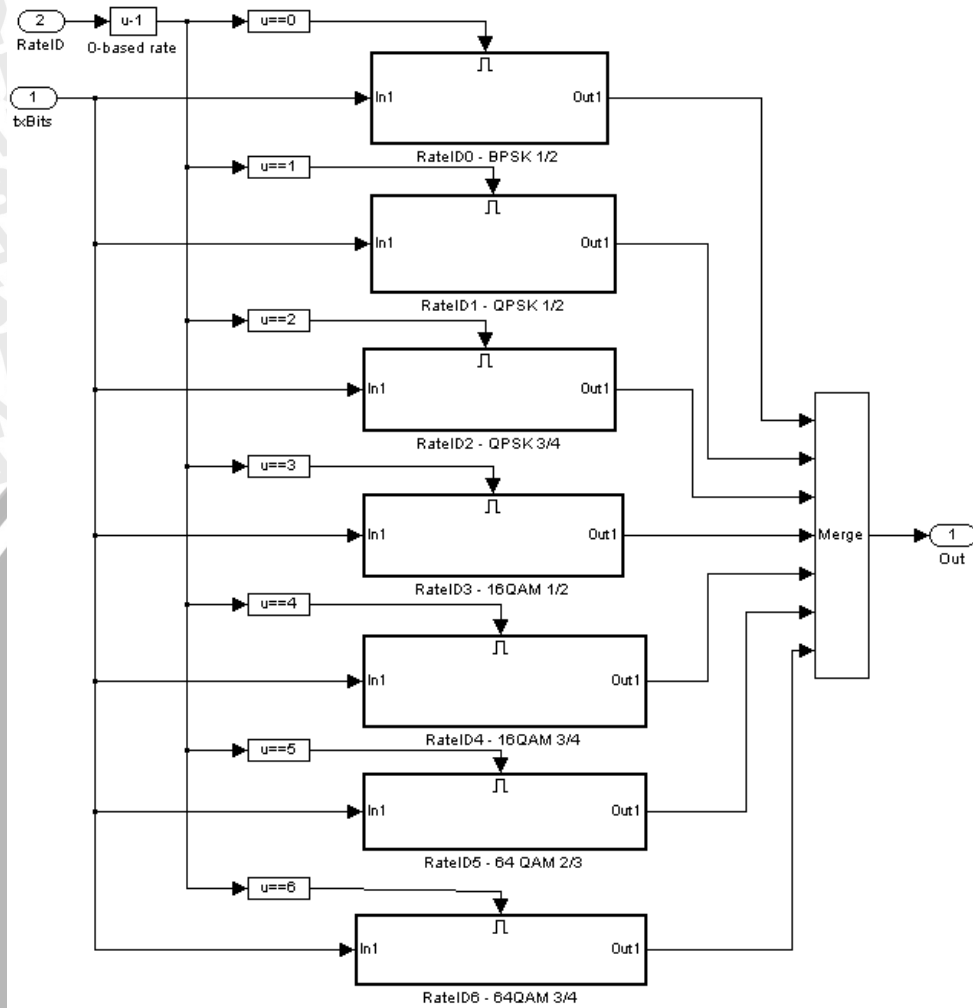
Lampiran 4. Listing Program *Embedded Matlab Untuk STBC-Decoder (Combiner)*

```
function s = stbcdec(h0, y, h1)
%% STBCDEC Space-Time Block Combiner
% h0 => estimasi kanal 1
% h1 => estimasi kanal 2
% y => sinyal terima
% =====
% Pendefinisian awal keluaran sinyal
% s => estimasi sinyal
% s0 => estimasi sinyal s0, s1 => estimasi sinyal s1
M = 1;
s = complex(zeros(size(y)));
s0 = complex(zeros(size(y,1), M));
s1 = s0;
% =====
% Space Time Combiner
for i = 1:size(y,2)/2
    s0(:, M) = conj(h0(:, 2*i-1)).* y(:, 2*i-1) + ...
               h1(:, 2*i).*conj(y(:, 2*i));

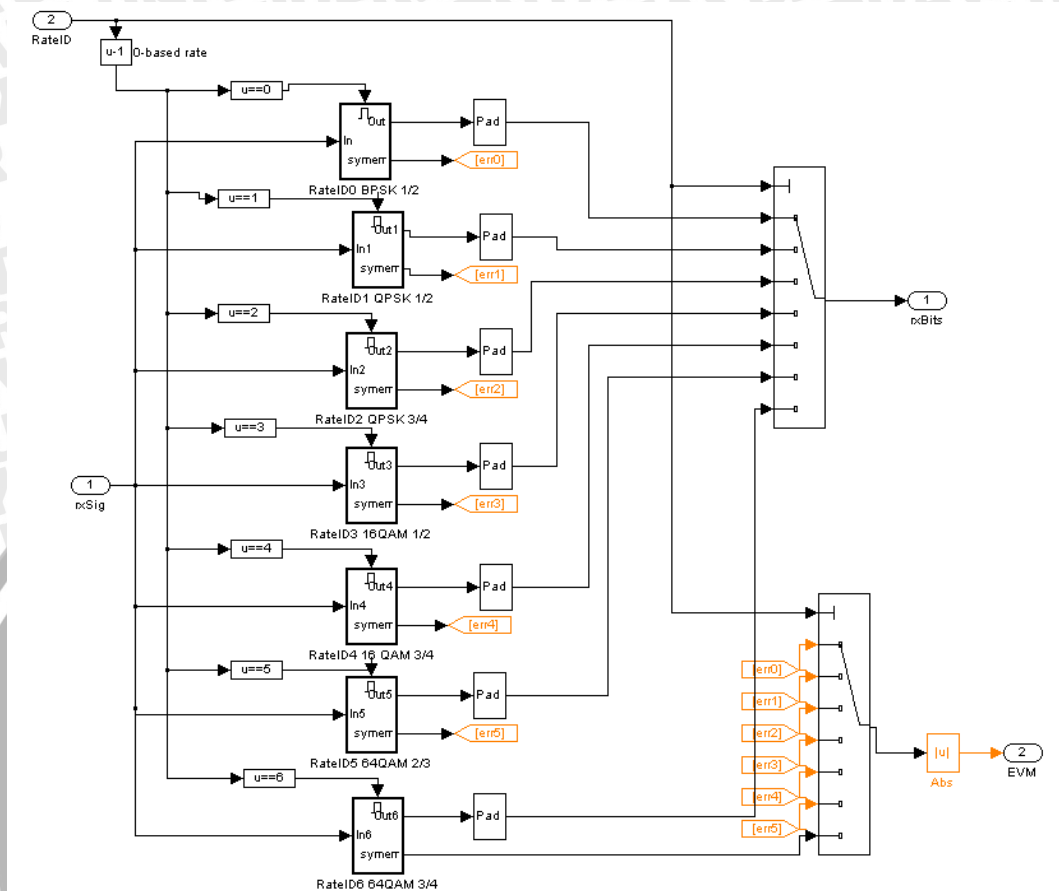
    s1(:, M) = conj(h1(:, 2*i-1)).* y(:, 2*i-1) - ...
               h0(:, 2*i).* conj(y(:, 2*i));

    s(:, [2*i-1 2*i]) = [s0 s1];
end
% =====
```

Lampiran 5. Blok Model FEC Encoder, Interleaver, dan Modulator



Lampiran 6. Blok Model FEC Decoder, Deinterleaver, dan Demodulator



Lampiran 7. Estimasi SNR

